

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Tepelný výpočet rozváděče nn**  
Thermal calculation of Distributor LV

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Libor Machů**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Tepelný výpočet rozváděče nn**  
**Thermal calculation of Distributor LV**

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte problematiku tepelného návrhu rozváděčů.
2. Pro zadaný rozváděč definujte volbu jednotlivých komponentů.
3. Proveďte tepelný výpočet rozváděče v ustáleném stavu.
4. Rozeberte dosažené výsledky a definujte možnosti zpřesnění výpočtu pro zlepšení spolehlivosti provozu daného rozváděče.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Šnášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

## Poděkování

*Závěrečnou prací chci vyjádřit poděkování panu Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. nejen za jeho odborné vedení v oboru elektrických strojů a přístrojů, ale i za jeho postřehy a zkušenosti dotýkající se celé oblasti elektroenergetiky. Velké poděkování patří i celé mé rodině za podporu, shovívavost a trpělivost, kterou mě obdarovávali v průběhu celého studia na Univerzitě.*

Datum odevzdání: 14.08.2012

podpis:.....

## Abstrakt

Diplomová práce je rozdělena do čtyř kapitol. V první kapitole se zabývám problematikou tepelného návrhu rozvaděčů nízkého napětí. Popisuji zde fyzikální parametry, jevy a vztahy mající souvislost s tepelným výpočtem rozvaděče nn. Druhá kapitola je věnována výběru jednotlivých komponentů použitých při sestavování rozvaděče. Jsou zde stručně uvedeny jejich názvy a technické parametry, na jejichž základě byl proveden výpočet a kontrola tepelného návrhu. Třetí kapitola obsahuje výpočet fyzikálních parametrů, z nichž hlavní osu parametrů tvoří Oteplení povrchu jednotlivých dílců, dále Tepelný tok jednotlivých dílců a nakonec Oteplení vnitřního prostoru rozvaděče nn. Ve výpočtech bylo použito jistých zjednodušujících podmínek, majících význam v dosažení cíle zadání diplomové práce. Poslední kapitolou se zabývám stručným rozbohem výsledků výpočtu a jeho možností zpřesnění za účelem zlepšení spolehlivosti daného rozvaděče.

## Abstract

The diploma work fractions into four chapters. The first chapter deals with the issue of the thermal project of low voltage distributor. I am describing the physical parameters, the effects and the consequences related to the thermal calculation of low voltage distributor. The second chapter devotes to the selection of a single component used for the distributor composition. The names and the technical specifications, based on which the thermal project calculation and the checking are made, are briefly followed here. The third chapter engages the calculation of the physical parameters, where the main parameter's line is drawn by the surface warming of a single component, further, the thermal flux of a single component, and finally, warming of the low voltage distributor inner space. The calculations use the simplified conditions, having effect on reaching the diploma work target. The last chapter concerns the brief outcome analysis of the calculation and its possible accuracy improvement to increase the liability of the distributor.

## Klíčová slova

Rovnice tepelné rovnováhy, Vznik a šíření tepla, Výkonové ztráty, Proudění vzduchu, Teplota okolního prostředí, Dovolené trvalé teploty, Rozvaděč nn, Dílec, Ustálený stav, Oteplení, Tepelná síť.

## Key Words

Thermal balance equation, the origin and diffusion of warmth, loss of power output, Air flow, surrounding temperature, Allowed permanent temperature, Low voltage distributor, Component, State of stability, Warming, Heat net.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

ČSN	Česká technická norma	
F	Síla	[N]
F	Frekvence	[Hz]
I	Elektrický proud	[A]
$I_N$	Jmenovitý proud	[A]
$I_{th}$	Jmenovitý tepelný proud	[A]
$I_\Delta$	Reziduální proud	[A]
$I_{\Delta n}$	Jmenovitý reziduální proud	[A]
IP	Krytí elektrických zařízení	
nn	Nízké napětí	
R	Elektrický odpor	[ $\Omega$ ]
$R_p$	Přechodový odpor	[ $\Omega$ ]
$R_s$	Stykový odpor	[ $\Omega$ ]
U	Elektrické napětí	[V]
RP-V	Rozvaděč podružný- Vstřikolis	
RH	Rozvaděč hlavní	
FU	Označení přístroje- pojistkový odpínač	
FA	Označení přístroje- jistič	
M	Mechanický moment	[Nm]

# Obsah

Úvod.....	9
<b>1. Rozbor tepelného návrhu rozvaděčů nn .....</b>	<b>10</b>
1.1 Základní jevy a vztahy .....	10
1.2 Teorie vzniku a šíření tepla obecně v návaznosti na tepelný výpočet rozvaděče nn.....	14
1.3 Dovolené oteplení dílců.....	15
1.4 Teplota okolí .....	16
1.5 Výkonové ztráty .....	16
1.6 Oteplení v ustáleném stavu .....	18
<b>2. Definování jednotlivých komponentů rozvaděče nn .....</b>	<b>22</b>
2.1 Rozvaděčová skříň RP-V .....	23
2.2 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm <sup>2</sup> .....	24
2.3 Hlavní jistič .....	24
2.4 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm <sup>2</sup> .....	25
2.5 Třmenové svorky k připojení vodičů na přípojnice .....	25
2.6 Přípojnice Cuponal .....	26
2.7 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm <sup>2</sup> , CY 16mm <sup>2</sup> , CY 10mm <sup>2</sup> , CY 4mm <sup>2</sup> , CY 2,5mm <sup>2</sup> ..	26
2.8 3xPojistkový odpínač.....	27
2.9 Nožové pojistky.....	27
2.10 Jističe modulární.....	27
2.10.1 Typ C40/3-I (1ks).....	27
2.10.2 Typ BMSO B 25/3 (1ks).....	28
2.10.3 Typ BMSO B 16/3 (3ks).....	28
2.10.4 Typ BMSO B 16/1 (5ks).....	28
2.11 Propojovací lišta.....	29
2.12 Řadové svorky.....	29
<b>3. Tepelný výpočet rozvaděče nn v ustáleném stavu .....</b>	<b>30</b>
3.1 Výpočet oteplení $\Theta_{\infty}$ na povrchu dílce.....	30
3.1.1 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm <sup>2</sup> .....	30
3.1.2 Hlavní jistič.....	32
3.1.3 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm <sup>2</sup> .....	33
3.1.4 Třmenové svorky k připojení vodičů na přípojnice.....	34
3.1.5 Přípojnice Cuponal.....	36
3.1.6 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm <sup>2</sup> , CY 16mm <sup>2</sup> (přívody k jisticím přístrojům).....	37
3.1.7 Pojistkový odpínač FU1 (pojistky 160A).....	42
3.1.8 2x Pojistkový odpínač FU2 (pojistky 63A).....	43
3.1.9 Jističe modulární.....	44
3.1.10 Propojovací lišta.....	49
3.1.11 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm <sup>2</sup> , CY 16mm <sup>2</sup> , CY 10mm <sup>2</sup> , CY 4mm <sup>2</sup> , CY 2,5mm <sup>2</sup> (odvodní kabely od jisticích přístrojů k zařízením).....	50
3.2 Výpočet tepelného toku Q dílce .....	57
3.2.1 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm <sup>2</sup> .....	57
3.2.2 Hlavní jistič.....	58
3.2.3 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm <sup>2</sup> .....	58
3.2.4 Třmenové svorky + přípojnice Cuponal.....	59
3.2.5 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm <sup>2</sup> , CY 16mm <sup>2</sup> (přívody k jisticím přístrojům).....	59

3.2.6 Pojistkový odpínač FU1 (pojistky 160A) .....	62
3.2.7 2x Pojistkový odpínač FU2 (pojistky 63A).....	62
3.2.8 Jističe modulární.....	63
3.2.9 Propojovací lišta.....	65
3.2.10 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm <sup>2</sup> , CY 16mm <sup>2</sup> , CY10mm <sup>2</sup> , CY4mm <sup>2</sup> , CY2,5mm <sup>2</sup> (odvodní kabely od 3.2.10jist.přístrojů k zařízením. ).....	66
<b>4. Rozbor dosažených výsledků a definování možností zpřesnění výpočtu pro zlepšení spolehlivosti provozu daného rozvaděče.....</b>	<b>71</b>
4.1 Rozbor dosažených výsledků.....	71
4.2 Možnosti zpřesnění výpočtu.....	71
<b>Literatura.....</b>	<b>72</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>73</b>



## Úvod

Úkolem této práce je nastínit problematiku tepelného výpočtu rozvaděče nn, neboť právě tepelný výpočet zahrnuje téměř 80 % všech výpočtů při návrhu rozvaděčů nn, což jen potvrzuje důležitost tohoto typu výpočtu.

Riziko nevhodně či dokonce špatně tepelně dimenzovaného rozvaděče spočívá v ohrožení nefunkčnosti daného zařízení a co je horší, může dojít i k požáru jak samotného zařízení, tak ohrožení osob a okolního prostředí.

Není mou snahou zde uvádět detailní výpočty všech komponentů, ale na skutečných prvcích pomocí výpočtu ověřit správnost a vhodnou volbu komponentů s ohledem na zjednodušující podmínky nutných pro *výpočet oteplení prostoru uvnitř rozvaděčové skříně*. Z tohoto důvodu je pozornost záměrně věnována pouze oteplení povrchu jednotlivých komponentů a nevěnuje se oteplení uvnitř těchto přístrojů.

# 1. Rozbor tepelného návrhu rozvaděčů

## 1.1 Základní jevy a vztahy

Při tepelném návrhu rozvaděče nn se vychází ze základního vztahu a to z *rovnice tepelné rovnováhy*

$$R * I^2 * dt = \alpha * A * \Delta \vartheta * dt + c * V * d\vartheta$$

(1)

Jak už sám název napovídá, podmínkou bezproblémového provozu a funkce Rozvaděče je tepelná rovnováha neboli vyváženost tepelných procesů. Tzn., je nutné zachovat rovnováhu mezi tím co v tělese (dílcí, přístroji apod.) vlivem Jouleových ztrát vzniká a mezi tím co z něj se odvádí a akumuluje. Pokud je tato fyzikální podmínka porušena, dochází zde nejen ke změnám chemickým (především degradace izolačních materiálů-izolace kabelů a vodičů= snížení doby životnosti), ale v horším případě může dojít vlivem přehřátí nebo překročení dovolené teploty dílců k mechanickému poškození tzn. **destrukci** některé z jeho částí, v horším případě celého rozvaděče.

Bohužel i v současné době při hlubokých znalostech odborné veřejnosti se tu a tam objeví špatný návrh rozvaděče končící katastrofálními následky.

Právě pečlivý a uvážený tepelný návrh rozvaděče má všem těmto negativním jevům předejít.

[1]

### Výklad rovnice tepelné rovnováhy:

**Levá strana** rovnice určuje velikost Jouleových ztrát. Jouleovy ztráty závisí přímo úměrně na kvadrátu procházejícího proudu, činném odporu proudovodné dráhy a době toku el.proudu obvodem.

**$R \cdot I^2 \cdot dt$**

**Pravá strana** rovnice se skládá ze dvou částí a to z části, která způsobuje **odvod vznikajícího tepla** (chlazení) a z části způsobující **akumulování tepla**.

**Odvod tepla.....**  $\alpha * A * \Delta \vartheta * dt$

$\alpha$  = součinitel přestupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$A$  = povrch dílce [m<sup>2</sup>]

$\Delta \vartheta$  = oteplení [K]

$dt$  = časová změna [s]

- **Součinitel přestupu tepla** je složen ze součinitele přestupu tepla konvekcí (prouděním)  $\alpha_K$  a ze součinitele přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ .  $\alpha = \alpha_K + \alpha_Z$

**Nejprve  $\alpha_K$ :** tento součinitel je závislý na fyzikálních veličinách jako je  $F_{vz}$  (Vztlaková síla),  $\rho$  (hustota),

$c$  (měrné teplo),  $\lambda$  (tepelná vodivost),  $\eta$  (dynamická viskozita),  $\nu$  (kinematická viskozita) a v poslední řadě je závislý i na charakteristických rozměrech ochlazovaného tělesa (viz tab.1) ovlivňující druh proudění (laminární, turbulentní).

Tab.1 Měrná chladihost dle tvaru dílce

Chlazený útvar		$\alpha_k$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Poznámka
Vodorovný válec o průměru D		$1,3 \sqrt[4]{V\Theta/D}$	$D \leq 0,5m$
Dlouhá svislá stěna		$1,8 \sqrt[4]{V\Theta}$	$h > 0,3m$ výška stěny
Krátká svislá stěna		$1,35 \sqrt[4]{V\Theta/h}$	$h < 0,3m$ výška stěny
Vodorovná plocha	rozměrná, chlazená nahoru	$2,5 \sqrt[4]{V\Theta}$	$h > 0,3m$
	menší, chlazená nahoru	$1,3 \sqrt[4]{V\Theta/h}$	$h < 0,3m$
	rozměrná, chlazená dolů	$1,3 \sqrt[4]{V\Theta}$	$h > 0,3m$
	menší, chlazená dolů	$0,6 \sqrt[4]{V\Theta/h}$	$h < 0,3m$

V tabulce 1 se vyskytuje symbol  $\Theta$ , znamenající oteplení stěny oproti tekutině. Tento parametr dosti výrazně ovlivňuje přenos tepla, neboť již při rozdílu teplot 15K probíhá dosti intenzivní vírnaté proudění a tedy intenzivní přenos tepla.

Výše uvedené veličiny ovlivňující  $\alpha_K$  mají zásadní vliv na **proudění tekutiny** (v mém případě je to vzduch) a tím na odvádění tepla neboli chlazení jednotlivých dílů rozvaděče a v konečném důsledku na oteplení vnitřního prostoru rozvaděčové skříně.

Dále  **$\alpha_Z$ :** je součinitel přestupu tepla zářením. Již z podstaty přenosu tepla tohoto druhu (elektromagnetické vlnění) vyplývají zákonitosti ovlivňující oteplování vnitřního prostoru rozvaděče nn. Platí, že tepelný tok přenášený zářením je dán zákonem Stefan-Boltzmannovým

$$Q_Z = 5,7 \cdot 10^{-8} E_z \cdot P \cdot T^4 \quad (2)$$

kde :  $5,7 \cdot 10^{-8}$  [ W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>] konstanta (činitel sálání absolutně černého tělesa)

$E_z$  emisivita povrchu (relativní činitel sálání povrchu)

$P$  [m<sup>2</sup>] povrch sálajícího dílce

$T$  [K] teplota sálajícího dílce

**$E_z$  emisivita povrchu:** je závislá na teplotě sálajícího povrchu, dále na jakosti a barvě povrchu. Platí že, čím větší je teplota sálajícího dílce, tím větší je množství vyzařovaného tepla. Množství vyzařovaného tepla závisí taky na barvě sálajícího dílce. Tmavší barvy vyzařují více tepelné energie nežli světlé barvy. Zde pro přehled uvádím tabulku hodnot emisivit pro různé druhy materiálů

[1]

Tab. 2 Emisivita jednotlivých druhů materiálů

<b>Materiál</b>	<b>Povrch</b>	<b>Ez</b>
Al	leštěný	<b>0,04</b>
	čistý, matný	0,06
	hladký, oxidovaný	0,1-0,2
Cu a barevné kovy	pololesklý	0,06
	čistý, matný	0,15-0,20
	hladký, oxidovaný	0,6-0,8
Ocel	leštěný	0,15
	opracovaný, čistý	0,3
	opracovaný, oxidovaný	0,7-0,8
Šedá litina	opracovaný, čistý	0,6
	opracovaný, oxidovaný	0,7-0,8
	hrubý, oxidovaný	0,9-0,95
Nátěr	hliníkový, dle obsahu Al	0,3-0,7
	bílý, lesklý	0,8-0,85
	barevný, lesklý	0,85-0,9
	černý, lesklý	0,9
	barevný, matný	0,9-0,95
	černý, matný	<b>0,95-0,98</b>
Pryž	drsny	0,9
Sklo	hladký	0,9
Porcelán	glazovaný	0,9
Dřevo	hoblovaný	0,8-0,9
Ocelový plech	pozinkovaný, oxidovaný	0,3

Vlivem odrazů elektromagnetického vlnění dochází k vzájemnému tepelnému ovlivňování (v dílech se jednak tepelná energie přeměňuje na elektromagnetické vlnění a ta je vyzařována do okolního prostředí, ale jednak elektromagnetické vlnění vyzařované ostatními díly je opět v dílci přeměňováno na energii tepelnou a tím dochází k oteplování interakcí s ostatními dílci rozvaděče nn. To značně komplikuje výpočet oteplení pomocí záření.

Jak jsem již naznačil, elektromagnetické vlnění se šíří prostorem a dle daných podmínek dochází v rozvaděči k odrazům od dalších dílců. Prakticky samozřejmě nedochází zde jen k odrazům (Reflexi), ale i k pohlcování (Absorpci) či průchodnosti-průteplivosti (Diatermii) .

Z hlediska absorbování tepelné energie (infračerveného záření) bylo zjištěno, že barva absorbujícího povrchu nemá podstatný vliv na velikost absorbované tepelné energie. Barva povrchu má vliv pouze na spektrum záření, které je okem viditelné.

Výše zmíněné potvrzují vztahy:  $A+R=1$  a  $A=1-R$  tzn. součet absorbované a odražené energie je jedna a pokud těleso odráží převážnou část viditelného záření (energie) je energie absorbovaná téměř

nulová. Ale jak již bylo uvedeno, barva povrchu nemá **z hlediska absorpce** na tepelné záření **téměř žádný vliv**.

**Celková (souhrnná) chladivost povrchu  $\alpha$  [ $W/m^2.K$ ]** : i když zde doposud uvádím součinitele přestupu tepla pouze separátně, bez vzájemné spojitosti, je samozřejmé, že oba typy součinitelů  $\alpha_K$  i  $\alpha_Z$  působí v reálném prostředí současně a nelze je oddělit. Výjimku tvoří záření ve vakuu a proudění v kapalinách. Pokud však řešíme šíření tepla vzduchem je nutné provést součet těchto dvou součinitelů přestupu tepla. V rámci výpočtu odvodu tepla (chlazení) se musí provést opět jistá zjednodušení a to:

- Chladicí povrchy dílců jsou stejné jak pro  $\alpha_K$  tak i pro  $\alpha_Z$  (v praxi se většinou liší)
- Teplota okolí i chlazených stěn je stejná pro  $\alpha_K$  tak i pro  $\alpha_Z$  (v praxi je jiná)

**Plocha povrchu  $P$ :** druhým parametrem odvodu tepla je plocha povrchu  $P$  [ $m^2$ ]. Platí zde přímá úměra tzn. čím větší je povrch dílce tím lépe dochází k jeho ochlazování. Záleží taky na orientaci plochy a její umístění v prostoru, neboť např. plochu dna oceloplechového rozvaděče při výpočtu zanedbáváme z důvodu neúčasti na procesu chlazení vnitřního prostoru rozvaděče. Tak je nutné zvažovat při tepelném návrhu rozvaděče i s potřebnými rozměry stěn rozvaděče a s vhodným umístěním v daném prostředí. Nevhodnou volbou či návrhem dosti omezujeme jeho ochlazovací schopnosti.

Významnou roli v přenosu tepla související s plochou hraje tzv. **hraniční vrstva  $\delta$  tekutiny**, neboť její tloušťka v podstatě určuje množství přenášeného tepla. Fyzikální podstatou proudění tekutin je Archimédův zákon. Vlivem zvětšeného objemu tekutiny oteplením, se zvětší vztlaková síla a ohřáté prostředí se začne pohybovat směrem vzhůru, zatímco studená tekutina se bude pohybovat dolů. Začne výměna těchto dvou rozdílných tekutin. Jak již bylo uvedeno, proudění tekutiny má podstatný vliv na přenos tepla. V závislosti na druhu proudění je schopnost tekutiny odvádět teplo větší či menší. Pokud jdeme hlouběji do problému, zjistíme, že se zvětšující rychlostí proudění se vrstvička tekutiny ulpívající na povrchu zmenšuje a vliv chlazení se zvětšuje. Tato tzv. **hraniční vrstva  $\delta$  tekutiny** v podstatě jako jediná stojí v cestě tepelného toku z teplejšího tělesa do chladnějšího tělesa. Tato vrstvička jenž je důsledkem tření omezuje přenos tepla pouze svým tepelným odporem  $R_T$ . Ve spodu rozvaděče bude přenos tepla největší, zatímco se stoupající výškou se tepelný tok zmenšuje a účinnost chlazení se snižuje. Velký vliv na chlazení prouděním má omezení či úplné uzavření prostorů. Proto bývají rozvaděče v určitých případech vybavovány umělou cirkulací vzduchu (ventilátory), jenž má zlepšit proudění vzduchu uvnitř rozvaděče.

**Rozdíl teplot  $T_1$  a  $T_2$   $\Delta\vartheta$ :** jak již bylo řečeno, rozdíl teplot ovlivňuje intenzitu proudění a tedy množství přenášeného tepla.

**Akumulace tepla.....**  $c * V * d\vartheta$

$c$  = měrná tepelná kapacita [ $J/m^3.K$ ]

$V$  = Objem [ $m^3$ ]

$d\vartheta$  = teplo spotřebované na zvýšení teploty o elementární hodnotu [ $J$ ]

**Měrná tepelná kapacita  $c$ :** je spolu s objemem fyzikální veličinou zapříčiňující akumulaci tepelné energie. Platí zde přímá úměra, tedy s rostoucí měrnou tepelnou kapacitou a objemem roste schopnost materiálu akumulovat tepelnou energii. Prakticky nám měrná tepelná kapacita a objem materiálu určuje, jaké množství tepelné energie je schopen materiál akumulovat. Poměr akumulovaného tepla a

tepla odvedeného určuje dobu, za kterou se oteplení ustálí na maximální hodnotě a dále se již teplota nezvyšuje.

$$\tau = \frac{c.V}{\alpha.P} \quad [s] \quad (3)$$

Toto oteplení se nazývá mezní  $\Theta_m$ , **nastává tepelná rovnováha**.

Mezní oteplení v podstatě určuje **nejvyšší dovolené oteplení** dílce  $\Theta_m = \frac{R.I^2}{\alpha.P}$  (4)

Ze vztahu vyplývá, že se zhoršujícím se chlazení klesá hodnota nejvyššího dovoleného oteplení.

Tento vztah popisuje průběh oteplování jen v **ustáleném stavu**, ale v reálném provozu se vyskytují samozřejmě i jevy **poruchové-krátkodobé** (zkrat) , kdy doba trvání takového jevu je řádově mikrosekund. Vychází se ze vztahu  $R.I^2 = c.V. \Theta_K$  (5)

Jeli tato doba kratší než  $0,2\tau$  zanedbáváme odvod tepla do okolí (jedná se o nadproudy větší než  $5xI_n$ ). Z hlediska konstruování rozvaděčů je nutné respektovat i tyto požadavky. Nerespektováním může dojít k fatálním a nevratným procesům v rozvaděči. Maximální hodnota oteplení při zkratu je definována vztahem  $\Theta_K = \frac{R.I^2}{c.V} tk$  (6)

Tyto podmínky nám určují správné dimenzování proudovodné dráhy, vodičů, přípojníc apod. **Doba trvání přechodného jevu** musí být rovna nebo menší než

$$\sqrt{t_k} \leq K. \frac{S}{I} \quad (7)$$

$K$ =konstanta materiálu zahrnující jeho jednotlivé vlastnosti (Cu=115 a Al=76 pro oba materiály při počáteční teplotě 70°C a konečné 160°C , při izolaci PVC a do průřezu  $\leq 300mm^2$ )

$I$ = efektivní hodnota zkratového proudu [A] [1]

## 1.2 Teorie vzniku a šíření tepla obecně v návaznosti na tepelný výpočet rozvaděče

Jak už ze samotného názvu vyplývá, zajišťuje rozvaděč nn několik funkcí současně, přičemž ne všechny funkce musí nutně obsahovat:

- Spínací funkce
- Ochranná funkce
- Měřicí funkce
- Řídicí funkce
- Signalizační funkce
- Regulační funkce

[3]

Protože jsou tyto jednotlivé funkční bloky vzájemně propojeny a provázány, vytvářejí tepelnou síť, v nichž vlivem procházejícího proudu vznikají Jouleovy ztráty = teplo. Rozložení v prostoru právě se zdroji tepla popisuje tzv. **Poissonova rovnice**.

$$-\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = - \frac{q}{\lambda} \quad (8)$$

V prvcích, kde žádný proud neprochází, tzn. zejména konstrukční části rozvaděče ať už oceloplechové či izolované, kryty přístrojů, zábrany živých částí rozvaděče, prvky nejsou zdrojem tepla a tepelný tok se těmito prvky pouze šíří, je rozložení tepla v prostoru popsáno **Laplaceovou rovnicí**.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0 \quad (9)$$

Výše uvedené vztahy nás v návaznosti na problematiku tepelného výpočtu rozvaděčů zavedou k řešení jednotlivých dílců se ztrátami a beze ztrát, tedy k řešení dílčích úkolů tepelného výpočtu jednotlivých prvků rozvaděče.

[1]

### 1.3 Dovolené oteplení dílců

Tepelný návrh rozvaděčů nn je zásadně ovlivněn dvěma časově a teplotně rozdílnými průběhy:

- **Ustálený-** provozní stav
- **Krátkodobý-** poruchový stav

**Ustálený stav:** Limitním parametrem je **nejvyšší trvalé dovolené oteplení** izolačních dílů, které mají nejmenší dovolené oteplení ze všech dílů rozvaděče. Ostatní díly jako proudovodné dráhy přístrojů, jádra vodičů, svorky, kabelové koncovky a konstrukční části rozvaděče mají mezní dovolené oteplení vyšší a tedy výsledný tepelný návrh je uzpůsoben s ohledem na dovolené oteplení **izolantů** použitých v rozvaděči. Hodnoty trvale dovoleného přípustného oteplení izolantů rozvaděče vycházejí z doby života izolace. Životnost izolace je dána chemickými pochody v závislosti na teplotě. Chemické změny vyvolají následně změny fyzikální (mechanické a elektrické), což může vést k ohrožení dílce.

[1]

**Výběr některých hodnot nejvyššího dovoleného oteplení dílců při okolní teplotě  $T_o=40^{\circ}\text{C}$  :**

- Kontakty z Cu : holá Cu ,rozv.zařízení nn, přístroje .....45°C  
holá Cu ,rozv.zařízení nn, přístroje, přerušovaný provoz.....65°C
- Šroubové spoje Cu nebo Al : holá Cu, Al, rozv.zařízení nn, přístroje .....70°C
- Součásti ve styku s izolanty uvedené třídy : Y .....50°C  
A.....65°C

[2]

**Krátkodobý průběh:** K tomuto ději může dojít při poruchových stavech (zkratech), na což se z hlediska návrhu musí brát zřetel. V úvahu se musí vzít nejen velká hodnota oteplení dílců, ale i dlouhá doba poklesu teploty při ochlazování. Hodnoty **maximální přípustné teploty** jsou vyšší než hodnoty trvale dovoleného oteplení v ustáleném stavu. Tyto hodnoty vycházejí z mechanické pevnosti v tahu, přičemž tyto hodnoty nemají klesnout pod 80% pevnosti za normální teploty.

**Výběr některých krátkodobých hodnot maximální přípustné teploty při poruchových stavech:**

- Al.....200°C
- Cu a barevné kovy nestýkající se s olejem nebo organickou izolací.....300°C
- Ocel.....400°C

Krátkodobý průběh el.proudu a s tím spojená vysoká teplota dílců při poruchových stavech nám v kritických momentech rozhoduje o funkčnosti či nefunkčnosti daného zařízení (vodiče, přístroje, kontakty, spoje). Například u nevhodně zvoleného přístroje může dojít ke svaření kontaktů atd.

Z výše uvedeného vyplývá poznatek, že tepelný návrh je ohraničen **teplotní odolností** jednotlivých prvků rozvaděče.

Tab. 3 Dovolené trvalé teploty izolantů

Třída izolantu	Materiál	Dovolená trv.teplota
Y	Bavlna, Papír, Hedvábí	90°C
A	Bavlna, Papír, Hedvábí (impregnace pryskyřicemi nebo oleji)	105°C
E	Tvrzený papír, Tvrzená textilní tkanina, Kartit, Pertinax	120°C
B	Tvrzená skelná tkanina-Epoxyd,	130°C
F	Tvrzená skelná tkanina-Epoxyd, Skelná rohož-Polyester	155°C
H	Tvrzená skelná tkanina-Epoxyd, Skelná rohož-Polyester,	180°C
C	Slída, Sklo, Porcelán	bez omezení

[3]

## 1.4 Teplota okolí

Dalším důležitým bodem v návrhu je **maximální přípustná teplota okolí  $T_o$** , která je pro naše klimatické podmínky dle ČSN 40°C.

$$\Theta_m = T_m - T_o = T_m - 40 \quad (10)$$

$\Theta_m$  = Maximální dovolené oteplení

$T_m$  = Maximální přípustná teplota dílce

Protože v provozu se předpokládá oteplení některých dílců i o 60K , může tím teplota těchto dílců dosáhnout až 100°C, neboť teplota okolního prostředí je dle ČSN dovolena v našich klimatických podmínkách 40°C . To znamená:

$$T_m = \Theta_m + T_o = 60 + 40 = 100$$

Z tohoto důvodu musíme při výpočtu činného odporu vodiče apod. do výpočtu dosazovat takové hodnoty měrného odporu, které odpovídají jejich provozní teplotě . V mojí práci počítám s oteplením  $\Theta_m = 50K$  při okolní teplotě prostředí  $T_o = 40^\circ C$  . Předpokládám tedy provozní teplotu proudovodných drah 90°C.

## 1.5 Výkonové ztráty

Jsou alfou a omegou celé problematiky. Jednoduše řečeno, pokud by žádné ztráty nevznikaly, není potřeba řešit tepelný návrh rozvaděče.

Fyzikální rozbor Jouleových ztrát byl již v této práci řešen v předchozí části. Průchodem elektrického proudu vznikají ve vodičích výkonové ztráty, způsobující oteplování jednotlivých dílů rozvaděče. Tepelný návrh musí tento fakt respektovat a je nutné správně dimenzovat jak jednotlivé kabely a vodiče, tak i přípojnice. Dále se musí vhodně zvolit jednotlivé přístroje, svorky, kabelová oka apod.

## Návrh z hlediska výkonových ztrát:

Pro správný tepelný návrh je nutné znát výkonové ztráty jednotlivých prvků, které bude rozvaděč nn obsahovat.



**Kabely, vodiče, přípojnice:** výkonové ztráty zjistíme výpočtem, pomocí měrného odporu jádra, délky vodiče, a průřezu vodiče. Samotný činný odpor je závislý na okolní teplotě a zde hraje roli součinitel tepelného odporu  $\alpha$ , jenž je opět pro každý druh materiálu jiný.

[1]

$$\text{Činný odpor jádra: } R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (11)$$

$$\text{Měrný odpor jádra při určité teplotě okolí } x: \rho_{y^{\circ}C} = \rho_{x^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (12)$$

$R$  = činný odpor jádra [ $\Omega$ ]

$\rho$  = Měrný odpor (Rezistivita) [ $\Omega \cdot m$ ]

$l$  = délka vodiče [ $m$ ]

$S$  = Průřez jádra, přípojnice [ $m^2$ ]

$\rho_{y^{\circ}C}$  = měrný odpor jádra při zvýšené teplotě např.  $50^{\circ}C$  [ $^{\circ}C$ ]

$\rho_{x^{\circ}C}$  = měrný odpor jádra při počáteční teplotě např.  $25^{\circ}C$  [ $^{\circ}C$ ] (tzv. referenční teplota)

$\alpha$  = teplotní součinitel odporu [ $K^{-1}$ ]

$\Delta t$  = teplotní rozdíl mezi dvěma tělesy ( $\Delta t = t_1 - t_2$ ) [ $K$ ]

Je známo, že se vzrůstající teplotou roste měrný odpor kovových vodičů (avšak u polovodičů a izolantů je tomu naopak). Jsou známy i kovové vodiče, u nichž je odpor i se vzrůstající teplotou téměř konstantní (Konstantan, Kanthal, Grafit). U kovových vodičů neplatí taky jen lineární závislost viz **Měrný odpor jádra při určité teplotě okolí** (pro vodiče jejichž provozní teplota je daleko nižší než teplota tavení daného kovu), ale platí zde další parametry, které bereme v úvahu v případě provozních teplot kovu blížící se k oblasti **tavení** daného kovu.

$$\rho_{y^{\circ}C} = \rho_{x^{\circ}C} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta t + \beta \cdot (\Delta t)^2 + \gamma \cdot (\Delta t)^3] \quad (13)$$

$\beta$  = teplotní součinitel objemové roztažnosti [ $K^{-1}$ ]

Vztah pro výpočet průřezu jádra (podmínka= DC proud nebo konstantní průřez)

$$R = \rho_{x^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \cdot \frac{l}{S} \quad (14)$$

**Úžinový odpor :** změna proudové hustoty proudovodné dráhy nastává se změnou průřezu vodičů (výřez, díra, změna průřezu vodičů např. z  $CY240mm^2$  na  $CY185mm^2$ ) a nebo s přechodem z rozdílných druhů materiálů např. z Mědi na Hliník (změna rezistivity=vodivosti materiálu). Důvodem je změna hustoty proudnic proudovodné dráhy, tedy zhuštění proudnic a důsledkem je vývin většího množství tepla= **výkonových ztrát**. Samozřejmě na úžinový odpor má velký vliv i **přítlačná síla  $F_k$**  ať už u kontaktů, či lisovacích kabelových ok apod. Přítlačná síla musí být zvolena adekvátně podle materiálu kontaktního styku viz tabulka 1., podle druhu kontaktního styku viz tabulka 2. Dostatečná přítlačná síla se ideálně provádí momentovým klíčem.

**Přechodový odpor:** nás u nově konstruovaných rozvaděčů až zase tolik nezajímá, neboť odpor cizích vrstev bude zanedbatelný.

Ztrátové výkony jističů, pojistek, odpínačů, vypínačů udává výrobce buď na přístroji anebo v katalogu daného sortimentu. Pokud tyto ztrátové výkony nelze dohledat, musíme si je zjistit měřením na konkrétním přístroji viz moje bakalářská práce s názvem „Spolehlivost spínacích přístrojů nn“ kapitola 3.

[1]

Tabulka 4. Materiál kontaktního styku

Materiál kontaktů	k
Ag-Ag	$3 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-4}$
Cu-Cu	$6 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$
Al-Al	$9 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$
Cu-Al	$5 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-2}$

Tabulka 5. Druh kontaktního styku

Druh styku	n
Přímkový	0,5
Přímkový-třecí	0,7-0,8
Plošný	1

Stykový odpor lze vypočítat dle vztahu  $R_s = k \cdot F^{-n}$  (15)

$R_s$  = Stykový odpor  $[\Omega]$

$k$  = koeficient kontaktních materiálů

$F$  = přítláčná síla  $[N]$

$n$  = exponent druhu styku

Z výše uvedeného vyplývá důraz na dodržování zásad související se změnou průřezu vodičů, kabelů, kabelových ok a na adekvátně zvolenou přítláčnou sílu kontaktního styku.

**Povrchový jev (Skin efekt):** se u síťového kmitočtu 50Hz jeho vliv uplatní až při proudech nad 200A , přičemž průřez jádra vodiče musí být minimálně dvojnásobně větší než je hloubka vniku daného vodiče. Vztah pro výpočet hloubky vniku měděného vodiče

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega \cdot \mu}} \quad (16)$$

Hloubka vniku klesá se zvětšujícím se kmitočtem, permeabilitou a s rozměry průřezu vodiče, což má za následek zvětšení odporu vodiče. Se vzrůstající hloubkou vniku elektromagnetického pole, se proudová hustota ve vodiči vyrovnává a tím odpor klesá.

Z toho vyplývá závěr, že v mém případě nemá povrchový jev vliv na **výkonové ztráty** v rozvaděči nn, ale samozřejmě v případě větších proudů a v použití větších průřezů kabelů je nutno tyto výkonové ztráty vlivem povrchového jevu zohlednit.

**Jev blízkosti:** mimo již uvedené jevy, mající vliv na velikost výkonových ztrát, patří i tzv. **jev blízkosti**. Tento jev vzniká při dostatečně blízké vzdálenosti dvou vodičů, protékanych proudem, jejichž magnetická pole se navzájem ovlivňují a podle směru toku proudu a prostorově uspořádaných vodičů je proud podobně jako vlivem skinefektu vytlačován k povrchu jádra a tím je efektivní průřez vodiče zmenšován, což se zvýšením hustoty vodiče v určitých místech znamená vývin tepla neboli zvětšení výkonových ztrát. Jev blízkosti se vyskytuje u proudů, jejichž hodnoty převyšují 200A a současně jejich vzdálenost mezi těmito dvěma vodiči je menší než pětinašobek průřezu vodiče. Opět v mém případě není nutné vliv blízkosti do výpočtu zahrnout, protože proudy jsou menší než 200A, i když vzdálenost mezi vodiči jednotlivých obvodů či jednotlivých fází je menší, než vzdálenost požadovaná.

Pro názornost zde uvádím kompletní vztah výpočtu odporu vodiče

[1]

$$R = \rho_r \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \cdot \frac{l}{S} \cdot k_p \cdot k_{bl} \quad (17)$$

$k_p$  =činitel povrchového jevu

$k_{bl}$ = činitel jevu blízkosti

Znalosti o zákonitostech šíření tepelného toku nám pomáhají pomocí výpočtů lépe zobrazit tepelný stav rozvaděče a navrhnout případné změny nebo korekce návrhu.

Jak už bylo v odborné literatuře uvedeno, záleží na těchto parametrech:

**Teplotní spád  $\Theta$  [K]**  $\theta = T_1 - T_2$  Jak je známo, šíření tepelného toku se děje od místa teplejšího ke studenějšímu neboli, čím větší je teplotní rozdíl, tím více je tepelného toku přenášeno.

**Tepelný odpor  $R_t$  [K/W]**

je rozdílný pro různé tvary dílců jako např.: vodič kruhového průřezu  $R_t = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{l}{S}$  (18)

$$\text{válcové mezikruží} \quad R_t = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda \cdot l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (19)$$

$\lambda$ = tepelná vodivost [W/m.K]

$l$ = délka vodiče [m]

$r_2, r_1$ = poloměry mezikruží vodiče [m]

V případě dílu, který je složen z více vrstev (např. izolované vodiče), se musí vliv jednotlivých tepelných odporů přepočítat na tzv. **náhradní součinitel přestupu tepla  $\alpha_{0n}$** . Je to zohlednění vlivu izolace na oteplení jádra vodiče či jiného dílce.  
[1]

$$\alpha_{0n} = \frac{1}{P_n \cdot R_{tc}} \quad (20)$$

$\alpha_{0n}$ = náhradní součinitel přestupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$P_n$ = povrch vnější vrstvy izol.vodiče [m<sup>2</sup>]

$R_{tc}$ = celkový tepelný odpor všech vrstev [K/W]

$$\text{přičemž } R_{tc} = R_{ta} + R_t \quad (21)$$

$R_{ta}$  = tepelný odpor povrchu izolace vnější vrstvy [K/W]

$R_t$ = tepelný odpor izolace vrstvy [K/W]

$$R_{ta} = \frac{1}{\alpha_0 \cdot P_n} \quad (22)$$

$\alpha_0$ = součinitel přestupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

Pomocí znalosti výsledků předcházejících parametrů můžeme vypočítat **oteplení povrchu jednotlivých dílců** a to následujícím způsobem:

Oteplení holého dílce (dílec bez izolace)  $\Theta = \frac{R \cdot I^2}{\alpha_0 \cdot P_n}$

Oteplení izolovaného dílce  $\Theta = \frac{R \cdot I^2}{\alpha_{on} \cdot P_n}$  (23)

Dále musíme vypočítat velikost **tepelného toku** jednotlivých dílců a to dle vztahu:

$$Q = \frac{\lambda_{ef}}{\delta} \cdot P_n \cdot \Delta T \quad (24)$$

$Q$  = Tepelný tok [W]

$\lambda_{ef}$  = efektivní tepelná vodivost vzduchu [W/m.K]

$\delta$  = vzdálenost mezi povrchem dílce a stěnou rozvaděče [m]

$P_n$  = povrch vnější vrstvy izol.vodiče [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$  = Teplotní spád mezi povrchem dílce a teplotou okolí ( $T_1 - T_0$ ) [°C]

**Efektivní tepelná vodivost vzduchu dle vztahu:**  $\lambda_{ef} = \lambda_{ek} + \alpha_z \cdot \delta$  (25)

$\lambda_{ek}$  = ekvivalentní tepelná vodivost vzduchu [W/m.K]

$\alpha_z$  = součinitel přestupu tepla zářením [W/m<sup>2</sup>.K]

Musíme určit taky velikost **ekvivalentní tepelné vodivosti vzduchu:**

$$\lambda_{ek} = C_\varepsilon \cdot \delta^{0,75} (T_1 - T_0)^{0,25} \quad (26)$$

$C_\varepsilon$  = tekutinová konstanta vzduchu dle střední teploty vzduchu (podle tabulky) [°C]

**Hodnota střední teploty vzduchu podle vztahu:**  $T_s = \frac{T_1 + T_0}{2}$  (27)

$T_s$  = střední teplota vzduchu [°C]

$T_1$  = povrchová teplota dílce [°C]

$T_0$  = teplota okolního prostředí [°C]

**a povrchová teplota dílce:**  $T_1 = T_0 + \Theta$  (28)

$\Theta$  = Oteplení dílce [K]

Jelikož podstatou mé práce není výpočet oteplení povrchu jednotlivých dílců, ale výpočet oteplení vnitřního prostoru rozvaděče nn, musí se ve výpočtu zohlednit **schopnost** oceloplechových krytů rozvaděče **odvádět teplo** z vnitřního prostoru rozvaděče, což prakticky znamená zohlednění součinitele přestupu tepla ocel.plechových krytů rozvaděče.

Pro přehled zde uvádím součinitele přestupu tepla dvou materiálů rozdílných krytů rozvaděče. Jsou to pouze orientační hodnoty uváděné v odborné literatuře:

- Oceloplechové kryty rozvaděčů.....  $\alpha = 5,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
  - Plastové kryty rozvaděčů.....  $\alpha = 3,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- [4]

Jak je z hodnot vidět, plastové kryty rozvaděčů negativně ovlivňují chlazení vnitřního prostředí a to je jeden z důvodů proč stoupá **riziko požáru** v bytových instalacích.

Ze znalosti součinitelů přestupu tepla krytů, můžeme orientačně určit **Oteplení vnitřního prostoru** rozvaděče nn a to tímto způsobem:

$$\Theta = \frac{\sum Q_n}{\alpha_0 \cdot P_n} \quad (29)$$

[1]

*Pozn.: Tento vztah je pouze úpravou Newtonova zákona pro přestup tepla*

$\Theta$  = Oteplení vnitřního prostoru rozvaděče nn [K]

$\sum Q_n$  = součet všech tepelných toků jednotlivých dílců rozvaděče nn [W]

$\alpha_0$  = součinitel přestupu tepla oceloplechového krytu [W/m<sup>2</sup> · K]

$P_n$  = plocha oceloplechových krytů [m<sup>2</sup>]

Pro výpočet plochy krytů se v literatuře uvádí tzv. **účinná chladicí plocha**. Je to plocha, která má vliv na chlazení a odvádění tepelných ztrát, neboť ne všechny kryty se podílejí na chlazení vnitřního prostoru rozvaděče.

[4]

A nakonec **výsledná teplota vnitřního prostoru** rozvaděče nn:

$$T = T_0 + \Theta \quad (30)$$

$T_0$  = teplota okolního prostředí [°C]

$\Theta$  = oteplení vnitřního prostoru rozvaděče nn [K]

## 2. Definování jednotlivých komponentů rozvaděče nn

Tab. 6 Přehled výzbroje Rozvaděče RP-V

Označení obvodu	Typ el.zařízení	In [A]	P1 [kW]	Popis prvků obvodu
FU 1	Kompresor nový	47,1	30	Pojistkový odpínač 160A Pn=12W PN000 63A Třmen.svorka 4Nm CYKY-J 4x16 Pg29 bez RSA
FU 2	Kompresor stávající	47,1	30	Pojistkový odpínač 160A Pn=12W PN000 63A Třmen.svorka 4Nm CYKY-J 4x16 Pg29 bez RSA
FU3	Rozvaděč Vstřikolisu	122	78	Pojistkový odpínač 160A Pn=12W PN00 160A CYKY-J 4x50 Třmen.svorka 10Nm M 40x1,5 bez RSA
FA 2	Topení forem	28,3	18	Jistič 40B/3 20kA CYKY-J 4x10 Třmen.svorka 4Nm Pg 29 RSA 3x10 zásuvka 400V 63A 3+PEN
FA 3	Rozvaděč -aut.řízení a dálkový monitoring kompresoru	23,2	14,8	Jistič 25B/3 CYKY-J 4x4 Pg21 RSA3x4
FA 4	Odsávání separace	1,6	1	Jistič 16B/3 CYKY-J 5x2,5 Pg16 RSA 3x2,5
FA 5	Ořezávací stroje	0,8	0,5	Jistič 16B/3 CYKY-J 5x2,5 Pg16 RSA 3x2,5
FA 6	Pařicí stroj	12,6	8	Jistič 16B/3 CYKY-J 5x2,5 Pg16 RSA 3x2,5
FA 7	Chladicí agregát	1,7	1,1	Jistič 16B/1 CYKY-J 3x2,5 Pg16 RSA 1x2,5
FA 8	Zásuvky PC a skener	5,7	3,6	Jistič 16B/1 CYKY-J 3x2,5 Pg16 RSA 1x2,5
FA 9	Separace míchání	4,7	3	Jistič 16B/1 CYKY-J 3x2,5 Pg16 RSA 1x2,5
FA 10	Rezerva	5,0	3,2	Jistič 16B/1 CYKY-J 3x2,5 Pg16 RSA 1x2,5
FA 11	Rezerva	5,0	3,2	Jistič 16B/1 CYKY-J 3x2,5 Pg16 RSA 1x2,5
	<b>Instalovaný příkon Pi</b>		194,4	
	<b>Účinník</b>		0,92	
	<b>Soudobost <math>\beta</math></b>		0,57	
	<b>Připojený příkon Pp</b>		<b>110,808</b>	
	<b>Jmenovitý proud In</b>	<b>305</b>		
	<b>Jmenovitý proud In se soudobostí <math>\beta=0,57</math></b>	<b>174</b>		

## 2.1 Rozvaděčová skříň RP-V

- Rozvaděč je volně stojící na podstavci, přisazený zadní stranou ke stěně. Teplota okolního prostředí se předpokládá max. 40°C.
- Rozvodná skříň je oceloplechová s podstavcem o rozměrech 2000x600x400mm
- Rám skříně je U profil svařovaný o tl. 2mm
- Dveře tl. 2mm lakovaný plech RAL 7032
- Montážní deska 2mm pozinkovaný plech
- Bočnice tl. 1,5mm lakovaný plech RAL 7032
- Tloušťka laku je 80µm
- Rozvaděč je přisazený zády ke stěně
- Z hlediska chladicí plochy je uvažováno pouze s bočními stěnami, dveřmi a horním víkem
- Velikost účinné chladicí plochy je  $P_n = 3,04 \text{ m}^2$
- Třída el. krytí IP55
- Bez umělé cirkulace vzduchu

Obr.1 Rozvaděčová skříň nn a) v zavřené poloze b) v otevřené poloze bez výzbroje



a)



b)

## 2.2 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm<sup>2</sup>

- Výrobce Kablo Velké Meziříčí
- Přívodní kabel do rozvaděče RP-V z Hlavní rozvodny HR pole č. 6
- Uvnitř skříně je plášť kabelu odizolován, jednotlivé fáze mají pouze jednu izolaci (izolované jádro)
- Jmenovité napětí 1kV
- Zkušební napětí 4kV
- Maximální provozní teplota při zkratu 160°C
- Provozní teplota jádra 70°C
- Izolace PVC
- Délka kabelu v rozvaděči  $l=2\text{m}$

Tab.7 Parametry kabelu AYKY-J 3x120+70mm<sup>2</sup> výrobce NKT Cables (Velké Meziříčí)

Počet a průřez žil (mm <sup>2</sup> )	Tvar jádra	Průměr inf. (mm)	Hmotnost inf. (kg/km)	Poloměr ohybu (mm)	Činný odpor (Ω/km)	Ekvivalentní zkrat. proud (kA)	Časová oteplovací konst. (sec)	Zatížitelnost na vzduchu (A)	Zatížitelnost v zemi (A)	Kapacita (μF/km)	Indukčnost (mH/km)	Obsah Al (kg/km)
3x120+70	SM+PE	38	2 098	475	0,253	9,120	873	216	245	-	0,240	1 290

Obr.2 Kabel AYKY-J 3x120+70mm<sup>2</sup>



[5]

## 2.3 Hlavní jistič

- Výrobce Schrack
- Typ MC2B-A200
- Spoušť na přetížení nastavena na  $I_r = 180\text{A}$  (Soudobý proud  $I_n = 174\text{A}$ )
- Rozsah zkratové spouště  $I_i = 6-10 \times I_n$  (1200-2000A)
- Rozsah spouště na přetížení  $I_r = 0,8-1 \times I_n$  (160-200A)
- Vypínací schopnost při 415kV..... 25kA
- Ochrana Termomagnetická
- Ztrátový výkon na pól při  $I_n = 200\text{A}$ .....  $P_n = 19\text{W}$
- Vypínací čas při zkratu .....  $< 10\text{ms}$



Obr. 3 Výkonový jistič Schrack MC2B-A200



[5]

## 2.4 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm<sup>2</sup>

- Vývody z hlavního jističe směrem na přípojnice rozvaděče
- Parametry stejné jako u kabelu AYKY-J 3x120+70 mm<sup>2</sup>
- Délka vodičů L1, L2, L3...0,5m

## 2.5 Třmenové svorky k připojení vodičů na přípojnice

- Výrobce Wöhner
- Utahovací momenty 15Nm (AY 120mm<sup>2</sup>), 10Nm (CY 50mm<sup>2</sup>), 4Nm (CY 16mm<sup>2</sup>)
- Zkratová odolnost 15Nm...62,8kA, 10Nm...46,7kA, 4Nm...34,9kA
- Maximální dovolené zatížení 15Nm...440A, 10Nm...400A, 4Nm...270A
- Šroub 15Nm...M10, 10Nm...M8, 4Nm... galvanic.pochromováno
- Pružina korozivzdorná ocel
- Svorka ocelová, galvanic.pochromovaná

Obr. 4 Třmenová svorka Wöhner



[5]

## 2.6 Přípojnice Cuponal

- Rozměry 30x5 mm, délka přípojníc L1/L2/L3.....450mm
- Maxim.dovolené zatížení.....313A
- Materiál jádra Al
- Materiál pláště Cu

Obr. 5 Přípojnice Cuponal 30x5 mm



[5]

## 2.7 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm<sup>2</sup>, CY 16mm<sup>2</sup>, CY 10mm<sup>2</sup>, CY 4mm<sup>2</sup>, CY 2,5mm<sup>2</sup>

- Výrobce Prakab (Kablo Praha)
- Přívodní vodiče od přípojníc k jednotlivým jističím přístrojům a vývody od jističích přístrojů k zařízením
- Jmenovité napětí 0,45/0,75kV
- Zkušební napětí 2,5kV při 50Hz
- Maximální teplota při zkratu 160°C/5 sec.
- Provozní teplota jádra -30°C až +70°C
- Izolace PVC

Tab.8 Parametry vodičů CY výrobce Prakab Praha

Průřez vodiče [mm <sup>2</sup> ]	Maximální odpor jádra [Ω/km]	Proudová zatížitelnost na vzduchu [A]	Informativní průměr vodiče [mm]	Obsah Cu [kg/km]	Informativní hmotnost [kg/km]	Obvyklé balení
10	1,8300	81	5,7	98	110	B 1000
16	1,1500	109	6,7	157	169	B 1000
2,5	7,41	33	3,2	25	30	K 100
4	4,61	45	3,7	39	46	K 100
50	0,3870	219	10,7	490	565	B 1000

Obr. 6 Vodič CY (ilustrační foto)



## 2.8 3x Pojistkový odpínač

- Výrobce Schrack
- Typ 00.ST9
- Multiblock 160A 690V NH00
- Velikost pojistek 00
- Tepelný proud  $I_{th} = 160A$
- Max. jmenovitá výkonová ztráta pojistkových vložek  $P_n = 12W$  na 1.pól
- Jmenovitý provozní proud  $I_e = 160A$
- Podmíněný zkratový proud 80kA
- Jmenovité impulzní výdržné napětí  $U_{imp} = 8kV$
- Izolační napětí 1kV
- Provozní teplota -25°C až +55°C
- Třída el.krytí IP20

Obr. 7 Pojistkový odpínač Schrack 160A



[5]

## 2.9 Nožové pojistky

- Výrobce OEZ Letohrad
- Typ PN000 160A (1. sada) a PN000 63A (2. sady)
- Charakteristika gG
- Vypínací schopnost 120kA/500V AC a 50kA/250V AC
- Velká omezovací schopnost
- Nízké hodnoty přepětí
- Výkonové ztráty  $P_n = 4,94W$
- Neobsahují Cd ani Pb

8 Nožová pojistka PN000 gG



## 2.10 Jističe modulární

- Výrobce Schrack

### 2.10.1 Typ C40/3-I (1ks)

- Třífázový
- Jmenovitý proud  $I_n = 40A$
- Charakteristika C
- Mezní vypínací schopnost  $I_{cu} = 25kA$
- Jmenovité impulzní výdržné napětí  $U_{imp} = 4kV$
- Jmenovitý ztrátový výkon  $P_n = 3,4W$  na 1. pól
- Třída selektivity 3
- Třída el.krytí IP20
- Životnost  $\geq 20\,000$  spínacích cyklů
- Provozní teplota -5°C až +40°C
- Rozměry 81x90x80,5mm

Obr. 9 Jistič modulární Schrack třífázový



### 2.10.2 Typ BMSO B 25/3 (1ks)

- Třípólový
- Jmenovitý proud  $I_n = 25\text{A}$
- Charakteristika B
- Jmenovitá vypínací schopnost  $I_K = 10\text{kA}$
- Jmenovité impulzní výdržné napětí  $U_{imp} = 4\text{kV}$
- Jmenovitý ztrátový výkon  $P_n = 3\text{W}$  na 1. pól
- Třída selektivity 3
- Třída el.krytí IP20
- Životnost  $\geq 8\,000$  spínacích cyklů
- Provozní teplota  $-5^\circ\text{C}$  až  $+40^\circ\text{C}$
- Rozměry 52,5x80x75,1mm

Obr. 10 Jistič modulární Schrack třípólový



Obr. 11 Jistič modulární Schrack třípólový

### 2.10.3 Typ BMSO B 16/3 (3ks)

- Třípólový
- Jmenovitý proud  $I_n = 16\text{A}$
- Charakteristika B
- Jmenovitá vypínací schopnost  $I_K = 10\text{kA}$
- Jmenovité impulzní výdržné napětí  $U_{imp} = 4\text{kV}$
- Jmenovitý ztrátový výkon  $P_n = 1,95\text{W}$  na 1. pól
- Třída selektivity 3
- Třída el. krytí IP20
- Životnost  $\geq 8\,000$  spínacích cyklů
- Provozní teplota  $-5^\circ\text{C}$  až  $+40^\circ\text{C}$
- Rozměry 52,5x80x75,1mm



[5]

### 2.10.4 Typ BMSO B 16/1 (5ks)

- Jednopolový
- Jmenovitý proud  $I_n = 16\text{A}$
- Charakteristika B
- Jmenovitá vypínací schopnost  $I_K = 10\text{kA}$
- Jmenovité impulzní výdržné napětí  $U_{imp} = 4\text{kV}$
- Jmenovitý ztrátový výkon  $P_n = 1,95\text{W}$  na 1. pól
- Třída selektivity 3
- Třída el. krytí IP20
- Životnost  $\geq 8\,000$  spínacích cyklů
- Provozní teplota  $-5^\circ\text{C}$  až  $+40^\circ\text{C}$
- Rozměry 17,5x80x75,1mm

Obr. 12 Jistič modulární Schrack jednopólový



[5]

## 2.11 Propojovací lišta

- Výrobce OEZ Letohrad
- Typ G3L-1000-10C
- Trojpólová „vidlička“
- Průřez  $S=10\text{mm}^2$
- Max.zatěžovací proud z kraje lišty 63A, ze středu lišty 100A
- Jmenovité pracovní napětí 415V AC
- Max.provozní napětí 500V AC
- Zkratová odolnost s předřazenou pojistkou 250A gG.....50kA
- Kategorie přepětí III
- Materiál proudovodné části E-CU-F25
- Materiál izolace PC/ABS-Blend

Obr. 13 Propojovací lišta OEZ Letohrad Cu 63A



[7]

## 2.12 Řadové svorky

- Výrobce Elektro Bečov nad Teplou
- Typ RSA 2,5 A, 4 A, 10 A
- Upnutí vodiče je pomocí ocelového třmenu s galvanickou úpravou ZnCrCo
- Materiál šroubů je ocel, galvanicky upravená ZnCrCo
- Proudovodná část RSA 2,5 A...Cu galvanicky pokovená Sn  
RSA 4 A...CuZn galvanicky pokovená Ni  
RSA 10 A... E-Cu galvanicky pokovená Ni
- Materiál izolačního pouzdra je polyamid PA6, bez halogenů

Obr. 14 Svorka řadová RSA



U typů RSA 2,5-16 A je krytí IP20

- 
- Jmenovitý proud RSA 2,5 A.....24A, 4 A.....41A, 10 A....57A
- Jmenovité izolační napětí  $U_i$  RSA 2,5 A....750V AC, 830V DC  
RSA 4 A....1kV  
RSA 10 A....1kV
- Elektrická pevnost RSA 2,5 A....4kV, 4 A....4kV, 10 A....4kV
- Zkratová odolnost RSA 2,5 A.....300A, 4 A...480A, 10 A...1200A

Obr. 15 Svorky řadové RSA v barevném rozlišení



[6]

### 3. Tepelný výpočet rozvaděče nn v ustáleném stavu

#### 3.1 Výpočet oteplení $\theta_{\infty}$ na povrchu dílce

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Předpokládané oteplení dílců je  $\theta = 50\text{K}$

Předpokládaná provozní teplota dílců  $T = T_o + \theta \quad T = 90^{\circ}\text{C}$

##### 3.1.1 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm<sup>2</sup>

samostatné jednožilové vodiče AY 120mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 2\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 174\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,8$

Materiál izolace PVC

###### 3.1.1.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

$$\alpha_0 = \alpha_K + \alpha_Z$$

$$\alpha_K = 6,0 + 0,09 \cdot 50 = 10,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \alpha_Z = 5,6 + 0,034 \cdot 50 = 7,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_0 = 10,5 + 7,3 = 17,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$\alpha_K$  = součinitel přestupu tepla prouděním

$\alpha_Z$  = součinitel přestupu tepla zářením

###### 3.1.1.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

$$\text{Průměr jádra Al: } S = \pi \cdot r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{120}{3,14}} = 6,18\text{mm} \Rightarrow d = 2 \cdot r = 2 \cdot 6,18 = 12,36\text{mm}$$

Tloušťka izolace jádra:  $h = 1,6\text{mm}$

Průměr vodiče s izolací:  $D = 2 \cdot h + d = 2 \cdot 1,6 + 12,36 = 15,56\text{mm}$

Obvod izolovaného vodiče:  $O = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 15,56 = 48,9\text{mm}$

Povrch izolovaného vodiče AY120mm<sup>2</sup>:  $P_n = O \cdot l = 48,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,096\text{m}^2$

###### 3.1.1.3 Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

$$R_{T\alpha} = \frac{1}{\alpha_0 \cdot P_n} = \frac{1}{17,8 \cdot 0,096} = 0,59 \text{ K/W}$$

#### 3.1.1.4 Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Tepelná vodivost izolace PVC:  $\lambda = 0,16 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda \cdot l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2,3,14,0,16,2} \cdot \ln \frac{7,78 \cdot 10^{-3}}{6,18 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{0,11 K/W}$$

$r_1$  = poloměr jádra Al [m]

$r_2$  = poloměr vodiče s izolací [m]

#### 3.1.1.5 Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče AY 120mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

$$R_{TC} = R_{T\alpha} + R_{T1}$$

$$R_{TC} = 0,59 + 0,11 = \mathbf{0,7 K/W}$$

#### 3.1.1.6 Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

$$\alpha_{0n} = \frac{1}{P_n \cdot R_{TC}} = \frac{1}{0,096 \cdot 0,7} = \mathbf{14,88 W/m^2.K}$$

#### 3.1.1.7 Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Teplotní součinitel odporu vodiče  $\alpha$ :  $\alpha = (225 + T_r)^{-1} = (225 + 40) = 3,77 \cdot 10^{-3}$

$T_r$  = referenční teplota např. 40°C

Měrný odpor vodiče  $\rho_{90}$  při 90°C:

$$\rho_{90} = \rho_{40}(1 + \alpha \cdot \Delta T) = 3,14 \cdot 10^{-8}(1 + 3,77 \cdot 10^{-3} \cdot 50) = 3,1 \cdot 10^{-8} \Omega.m$$

$\rho_{40}$  = měrný odpor vodiče při teplotě okolí 40°C [ $\Omega.m$ ]

$\Delta T$  = rozdíl předpokládané provozní teploty (90°C) a teploty okolí (40°C)

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \rho_{90} \cdot \frac{l}{S} = 3,73 \cdot 10^{-8} \frac{2}{120 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{6,2 \cdot 10^{-4} \Omega}$$

$l$  = délka vodiče [m]

$S$  = průřez jádra [m<sup>2</sup>]

#### 3.1.1.8 Výkonové ztráty $P_Q$

$$P_Q = R_{90} \cdot I^2 = 6,2 \cdot 10^{-4} \cdot 174^2 = \mathbf{18,77 W}$$

### 3.1.1.9 Oteplení izolovaného vodiče $\Theta_{\infty}$

$$\Theta_{\infty} = \frac{R \cdot I^2}{\alpha_{0n} \cdot P_n} = \frac{18,77}{14,88 \cdot 0,096} = \mathbf{13,1\ K}$$

### 3.1.2 Hlavní jistič

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 200\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

#### 3.1.2.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 5,8\ \text{W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \alpha_Z = 8,2\ \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_0 = \mathbf{14\ W/m}^2 \cdot \mathbf{K}$$

#### 3.1.2.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 152,5x103x105mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 3\text{mm}$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran (bez horní strany)

Povrch krytu:  $P_n = \mathbf{74,255 \cdot 10^{-3}\ m^2}$

#### 3.1.2.3 Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{0,96\ K/W}$$

#### 3.1.2.4 Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21\ \text{W/m.K}$

$$R_{T1} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{h}{P_n} = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{74,255 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{0,19\ K/W}$$

#### 3.1.2.5 Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{1,15\ K/W}$$



### 3.1.2.6 Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 11,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.2.7 Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = 19 \text{ W}$$

### 3.1.2.8 Oteplení jističe $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 21,9 \text{ K}$$

## 3.1.3 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 2\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 174\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,8$

Materiál izolace PVC

### 3.1.3.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 4,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \alpha_Z = 7,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_0 = 11,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.3.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče AY120mm}^2: P_n = 0 \cdot l = 48,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 0,02445 \text{ m}^2$$

### 3.1.3.3 Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 3,47 \text{ K/W}$$

### 3.1.3.4 Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,458 \text{ K/W}$$

### 3.1.3.5 Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče AY 120mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{3,93\ K/W}$$

### 3.1.3.6 Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{10,41\ W/m^2.K}$$

### 3.1.3.7 Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup a hodnoty výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \rho_{90} \cdot \frac{l}{S} = 3,73 \cdot 10^{-8} \frac{0,5}{120 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{1,5 \cdot 10^{-4}\ \Omega}$$

### 3.1.3.8 Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{4,54W}$$

### 3.1.3.9 Oteplení izolovaného vodiče $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = \mathbf{17,8\ K}$$

## 3.1.4 Třmenové svorky k připojení vodičů na přípojnice

### 3.1.4A Svorka M=15Nm

Parametry dílce:

Proud obvodu  $I_n = 174A$

Typ kontaktního styku (plošný-trvalý)  $n = 1$

Síla působící na spoj  $F = 150N$

Materiál kontakt.styku (Al/Al)  $k = 9 \cdot 10^{-3}$

Výpočet síly působící na spoj:  $M = F \cdot s \Rightarrow F = \frac{M}{s} = \frac{15}{0,1} = 150N$

$s = \text{délka ramena (klíče) působící na utah. šroub svorky } l = 150N$

Odpor styku:  $R_S = k \cdot F^{-n} = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 150^{-1} = \mathbf{6 \cdot 10^{-5}\ \Omega}$

Výkonové ztráty:  $P_{QA} = R_S \cdot I^2 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 174^2 = \mathbf{1,8W}$

### 3.1.4B Svorka $M=10Nm$

Parametry dílce:

Proud obvodu  $I_n = 122A$

Typ kontaktního styku (plošný-trvalý)  $n = 1$

Síla působící na spoj  $F = 100N$

Materiál kontakt. styku (Cu/Cu)  $k = 5 \cdot 10^{-3}$

Výkonové ztráty:  $P_{QB} = \mathbf{0,74W}$

### 3.1.4C Svorka $M=4Nm$

Parametry dílce:

Proud obvodu  $I_n = 47,1A$

Typ kontaktního styku (plošný-trvalý)  $n = 1$

Síla působící na spoj  $F = 40N$

Materiál kontakt. styku (Cu/Cu)  $k = 5 \cdot 10^{-3}$

Postup výpočtu viz 3.1.4A

Odpor styku:  $R_S = 1,25 \cdot 10^{-4}\Omega$

Výkonové ztráty:  $P_{QC} = \mathbf{0,3W}$

### 3.1.4D Svorka $M=4Nm$

Parametry dílce:

Proud obvodu  $I_n = 28,3A$

Typ kontaktního styku (plošný-trvalý)  $n = 1$

Síla působící na spoj  $F = 40N$

Materiál kontakt. styku (Cu/Cu)  $k = 5 \cdot 10^{-3}$

Postup výpočtu viz 3.1.4A

Odpor styku:  $R_S = 1,25 \cdot 10^{-4}\Omega$

Výkonové ztráty:  $P_{QD} = \mathbf{0,1W}$

### 3.1.4E Svorka $M=4Nm$

Parametry dílce:

Proud obvodu  $I_n = 60A$

Typ kontaktního styku (plošný-trvalý)  $n = 1$

Síla působící na spoj  $F = 40N$

Materiál kontakt. styku (Cu/Cu)  $k = 5 \cdot 10^{-3}$

Postup výpočtu viz 3.1.4A

Odpor styku:  $R_S = 1,25 \cdot 10^{-4}\Omega$

Výkonové ztráty:  $P_{QE} = 0,45W$

*Výkonové ztráty jednotlivých typů svorek jsou pro výpočet oteplení  $\Theta_{\infty}$  zahrnuty až ve výpočtu výkonových ztrát přípojnice Cuponal viz 3.1.5.8*

### 3.1.5 Přípojnice Cuponal

Parametry dílce:

Délka přípojnice  $l = 0,45m$

Jmenovitý proud  $I_n = 174A$

Emisivita povrchu  $E_Z = 0,17$

#### 3.1.5.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 10,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \alpha_Z = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_0 = 11,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.5.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 450 x 350 x 5 mm

$$\text{Povrch: } P_n = 3,15 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

#### 3.1.5.3 Tepelný odpor povrchu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 2,67 \text{ K/W}$$

#### 3.1.5.4 Tepelný odpor materiálu přípojnice $R_{T1}$

Tepelná vodivost materiálu (Cuponal):  $\lambda = 2,38 \cdot 10^6 \text{ W/m.K}$

Postup výpočtu dle 3.1.2.4

$$R_{T1} = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ K/W}$$

#### 3.1.5.5 Celkový tepelný odpor $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 2,77 \text{ K/W}$$

#### 3.1.5.6 Činný odpor přípojníc $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = 9,54 \cdot 10^{-8} \Omega$$

### 3.1.5.7 Výkonové ztráty $P_Q$ (třmenové svorky+přípojnice)

$$P_{QCuponal} = 2,88 \cdot 10^{-3} W$$

$$\Sigma P_Q = P_{QA} + P_{QB} + P_{QC} + P_{QD} + P_{QE} + P_{QCuponal} = 3,4 W$$

### 3.1.5.8 Oteplení přípojnice a třmenových svorek $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 9 K$$

## 3.1.6 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm<sup>2</sup>, CY 16mm<sup>2</sup> (přívody k jističím přístrojům)

### 3.1.6A Vodiče CY50mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1m$

Jmenovitý proud  $I_n = 122A$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

#### 3.1.6.1A Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 4,5 W/m^2 \cdot K \quad \alpha_Z = 8,2 W/m^2 \cdot K$$

$$\alpha_0 = 12,7 W/m^2 \cdot K$$

#### 3.1.6.2A Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY50 mm}^2: P_n = 0,1 = 33,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,0332 m^2$$

#### 3.1.6.3A Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 2,37 K/W$$

#### 3.1.6.4A Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,28 K/W$$

### 3.1.6.5A Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 50 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{2,65\ K}$$

### 3.1.6.6A Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{11,36\ W/m^2.K}$$

### 3.1.6.7A Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \mathbf{4,52 \cdot 10^{-4}\ \Omega}$$

### 3.1.6.8A Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{6,72\ W}$$

### 3.1.6.9A Oteplení izolovaného vodiče CY 50mm<sup>2</sup> $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = \mathbf{18,5\ K}$$

## 3.1.6B Vodiče CY16 mm<sup>2</sup> (2xsada)

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 47,1\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

### 3.1.6.1B Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = \mathbf{12,7\ W/m^2 \cdot K}$$

### 3.1.6.2B Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY16 mm}^2: P_n = 0.l = 20,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = \mathbf{0,0207\ m^2}$$

### 3.1.6.3B Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{3,8\ K/W}$$

3.1.6.4B Tepelný odpor vrstvy izolace  $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = \mathbf{0,36\ K/W}$$

3.1.6.5B Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup>  $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{4,16\ K/W}$$

3.1.6.6B Náhradní součinitel přestupu tepla  $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{11,6\ W/m^2.K}$$

3.1.6.7B Činný odpor vodiče  $R_{90}$  při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \mathbf{1,4 \cdot 10^{-3}\ \Omega}$$

3.1.6.8B Výkonové ztráty  $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{3,1\ W}$$

3.1.6.9B Oteplení izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup>  $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = \mathbf{12,9\ K}$$

### **3.1.6C Vodiče CY16mm<sup>2</sup>**

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 28,3\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

### 3.1.6.1C Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = \mathbf{12,7 \text{ W/m}^2 \cdot K}$$

### 3.1.6.2C Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY16 mm}^2: P_n = 0,1 = 20,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = \mathbf{0,0310 \text{ m}^2}$$

### 3.1.6.3C Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{2,54 \text{ K/W}}$$

### 3.1.6.4C Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = \mathbf{0,24 \text{ K/W}}$$

### 3.1.6.5C Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{2,78 \text{ K/W}}$$

### 3.1.6.6C Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{11,58 \text{ W/m}^2 \cdot K}$$

### 3.1.6.7C Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90}: R_{90} = \mathbf{2,12 \cdot 10^{-3} \Omega}$$

### 3.1.6.8C Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{1,7 \text{ W}}$$

### 3.1.6.9C Oteplení izolovaného vodiče CY 16mm<sup>2</sup> $\theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_\infty = \mathbf{2,8 \text{ K}}$$



### 3.1.6D Vodiče CY16mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 60\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

#### 3.1.6.1D Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 12,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.6.2D Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY16 mm}^2: P_n = 0,1 \cdot l = 20,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 0,0310\text{m}^2$$

#### 3.1.6.3D Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 2,54 \text{ K/W}$$

#### 3.1.6.4D Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,24 \text{ K/W}$$

#### 3.1.6.5D Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 2,78 \text{ K/W}$$

#### 3.1.6.6D Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 11,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.6.7D Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90}: R_{90} = 2,12 \cdot 10^{-3} \Omega$$

### 3.1.6.8D Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = 7,6 \text{ W}$$

### 3.1.6.9D Oteplení izolovaného vodiče CY 16mm<sup>2</sup> $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 21,2 \text{ K}$$

## 3.1.7 Pojistkový odpínač FU1 (pojistky 160A)

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 160\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_Z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

### 3.1.7.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 5,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\alpha_0 = 13,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.7.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 108 x 184 x 81mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 2\text{mm}$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran (bez horní strany)

$$\text{Povrch krytu: } P_n = 78,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

### 3.1.7.3 Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 0,96 \text{ K/W}$$

### 3.1.7.4 Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 0,12 \text{ K/W}$$

1.7.5 Celkový tepelný odpor krytu  $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{1,08\ K/W}$$

3.1.7.6 Náhradní součinitel přestupu tepla  $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{12,54\ W/m^2.K}$$

3.1.7.7 Výkonové ztráty  $P_Q$  (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = \mathbf{12W}$$

3.1.7.8 Oteplení odpínače  $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = \mathbf{12,2\ K}$$

### **3.1.8 2x Pojistkový odpínač FU2 (pojistky 63A)**

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 47,1A$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

3.1.8.1 Souhrnná chladivost povrchu  $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = \mathbf{13,25\ W/m^2 . K}$$

3.1.8.2 Velikost povrchu dílce  $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu viz 3.1.7.2

$$\text{Povrch krytu: } P_n = \mathbf{78,3 \cdot 10^{-3} m^2}$$

3.1.8.3 Tepelný odpor povrchu krytu  $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{0,96\ K/W}$$

3.1.8.4 Tepelný odpor krytu  $R_{T1}$

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21\ W/m.K$

$$R_{T1} = \mathbf{0,12\ K/W}$$

### 3.1.8.5 Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{1,08\ K/W}$$

### 3.1.8.6 Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{12,54\ W/m^2.K}$$

### 3.1.8.7 Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = \mathbf{6,38W}$$

### 3.1.8.8 Oteplení odpínače $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = \mathbf{6,5\ K}$$

## 3.1.9 Jističe modulární

### 3.1.9A Jistič C40/3-I (1ks)

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 40A$

Emisivita povrchu  $E_Z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

#### 3.1.9.1A Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_K = 6\ W/m^2 \cdot K \quad \alpha_Z = 8,2\ W/m^2 \cdot K$$

$$\alpha_0 = \mathbf{14,2\ W/m^2 \cdot K}$$

#### 3.1.9.2A Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 81 x 90 x 80,5 mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 1mm$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran

Povrch krytu:  $P_n = \mathbf{19,2 \cdot 10^{-3} m^2}$

### 3.1.9.3A Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 3,7 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.4A Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.2.4

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 0,25 \text{ K/W}$$

## 3.1.9B Jistič BMSO B 25/3 (1ks)

### 3.1.9.5A Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 3,95 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.6A Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 13,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

### 3.1.9.7A Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = 3,4 \text{ W}$$

### 3.1.9.8A Oteplení jističe $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = 13,5 \text{ K}$$

## 3.1.9B Jistič BMSO B 25/3 (1ks)

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 25\text{A}$

Emisivita povrchu  $E_Z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

### 3.1.9.1B Souhrnná chladihost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 14,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.9.2B Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 52,5 x 80 x 75,1 mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 1\text{ mm}$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran

Povrch krytu:  $P_n = 12,6 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$

### 3.1.9.3B Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 5,6 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.4B Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.2.4

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 0,4 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.5B Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 6 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.6B Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 13,2 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

### 3.1.9.7B Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = 3 \text{ W}$$

### 3.1.9.8B Oteplení jističe $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 18 \text{ K}$$

### 3.1.9C Jistič BMSO B 16/3 (3ks)

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 16A$

Emisivita povrchu  $E_Z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

#### 3.1.9.1C Souhrnná chladihost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 14,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.9.2C Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 52,5 x 80 x 75,1 mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 1mm$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran

Povrch krytu:  $P_n = 12,6 \cdot 10^{-3} m^2$

#### 3.1.9.3C Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 5,6 \text{ K/W}$$

#### 3.1.9.4C Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.2.4

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 0,4 \text{ K/W}$$

#### 3.1.9.5C Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 6 \text{ K/W}$$

#### 3.1.9.6C Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 13,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.9.7C Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = 1,95 \text{ W}$$

### 3.1.9.8C Oteplení jističe $\Theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_{\infty} = 25,8 \text{ K}$$

### 3.1.9D Jistič BMSO B 16/1 (5ks)

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 16 \text{ A}$

Emisivita povrchu  $E_z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

### 3.1.9.1D Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 14,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.9.2D Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 17,3 x 80 x 75,1mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 1 \text{ mm}$

Uvažuje se pouze 5 chladících stran (bez horní strany)

Povrch krytu:  $P_n = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

### 3.1.9.3D Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 16,8 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.4D Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.2.4

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 1,13 \text{ K/W}$$

### 3.1.9.5D Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 17,9 \text{ K/W}$$



#### 3.1.9.6D Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 13,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

#### 3.1.9.7D Výkonové ztráty $P_Q$ (dle katalogu výrobce)

$$P_Q = 1,95 \text{ W}$$

#### 3.1.9.8D Oteplení jističe $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 34,9 \text{ K}$$

### 3.1.10 Propojovací lišta

Parametry dílce:

Jmenovitý proud  $I_n = 60 \text{ A}$

Průřez proudovod.dráhy  $S = 10 \text{ mm}^2$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál krytu: Polykarbonát

#### 3.1.10.1 Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 18,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.10.2 Velikost povrchu dílce $P_n$

Rozměry: 289 x 15 x 17 mm

Tloušťka izolace krytu:  $h = 1 \text{ mm}$

Uvažují se pouze jedna chladicí strana (boční stěna)

Povrch krytu:  $P_n = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

#### 3.1.10.3 Tepelný odpor povrchu krytu $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 10,88 \text{ K/W}$$

#### 3.1.10.4 Tepelný odpor krytu $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.2.4

Tepelná vodivost krytu (polykarbonát):  $\lambda = 0,21 \text{ W/m.K}$

$$R_{T1} = 0,97 \text{ K/W}$$

### 3.1.10.5 Celkový tepelný odpor krytu $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{11,85\ K/W}$$

### 3.1.10.6 Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{17,18\ W/m^2.K}$$

### 3.1.10.7 Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \mathbf{2,75 \cdot 10^{-4}\ \Omega}$$

### 3.1.10.8 Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{1\ W}$$

### 3.1.10.9 Oteplení jističe $\Theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_{\infty} = \mathbf{11,8\ K}$$

## 3.1.11 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm<sup>2</sup>, CY 16mm<sup>2</sup>, CY10mm<sup>2</sup>, CY4mm<sup>2</sup>, CY2,5mm<sup>2</sup> (odvodní kabely od jist.přístrojů k zařízením. )

### 3.1.11A Vodiče CY50mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 122\text{A}$

Emisivita povrchu  $E_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

#### 3.1.11.1A Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = \mathbf{12,7\ W/m^2 \cdot K}$$

#### 3.1.11.2A Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu dle 3.1.1.2

Povrch izolovaného vodiče CY50 mm<sup>2</sup>:  $P_n = O.l = 33,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = \mathbf{0,04982m^2}$

3.1.11.3A Tepelný odpor povrchu izolace  $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{1,58 \text{ K/W}}$$

3.1.11.4A Tepelný odpor vrstvy izolace  $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = \mathbf{0,187 \text{ K/W}}$$

3.1.11.5A Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 50 mm<sup>2</sup>  $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = \mathbf{1,77 \text{ K/W}}$$

3.1.11.6A Náhradní součinitel přestupu tepla  $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{11,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}}$$

3.1.11.7A Činný odpor vodiče  $R_{90}$  při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \mathbf{6,78 \cdot 10^{-4} \Omega}$$

3.1.11.8A Výkonové ztráty  $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{10,1W}$$

3.1.11.9A Oteplení izolovaného vodiče CY 50mm<sup>2</sup>  $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = \mathbf{17,9 \text{ K}}$$

### 3.1.11B Vodiče CY16 mm<sup>2</sup> (2 x sada)

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 47,1\text{A}$

Emisivita povrchu  $E_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

#### 3.1.11.1B Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 12,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.11.2B Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup a hodnoty výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY16 mm}^2: P_n = 0 \cdot l = 31,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 0,03105\text{m}^2$$

#### 3.1.11.3B Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 2,53 \text{ K/W}$$

#### 3.1.11.4B Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,54 \text{ K/W}$$

#### 3.1. 11.5B Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 3,07 \text{ K/W}$$

#### 3.1.11.6B Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 10,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.11.7B Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = 2,12 \cdot 10^{-3} \Omega$$

### 3.1.11.8B Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = 4,7 \text{ W}$$

### 3.1.11.9B Oteplení izolovaného vodiče CY 16 mm<sup>2</sup> $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\Theta_\infty = 14,4 \text{ K}$$

## 3.1. 11C Vodiče CY10mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 28,3\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

### 3.1.11.1C Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = 12,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 3.1.11.2C Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY10 mm}^2: P_n = 0,162 \cdot 1,5 = 0,243 \text{ m}^2$$

### 3.1. 11.3C Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = 3,24 \text{ K/W}$$

### 3.1.11.4C Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,25 \text{ K/W}$$

### 3.1.11.5C Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 10 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 3,49 \text{ K/W}$$

### 3.1.11.6C Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = \mathbf{11,79 \text{ W/m}^2 \cdot K}$$

### 3.1.11.7C Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce $90^\circ\text{C}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = \mathbf{3,39 \cdot 10^{-3} \Omega}$$

### 3.1.11.8C Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = \mathbf{3,12 \text{ W}}$$

### 3.1.11.9C Oteplení izolovaného vodiče CY 10mm<sup>2</sup> $\theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_\infty = \mathbf{10,9K}$$

### 3.1.11D Vodiče CY4mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Délka vodičů  $l = 1,5\text{m}$

Jmenovitý proud  $I_n = 23,2\text{A}$

Emisivita povrchu  $\epsilon_z = 0,9$

Materiál izolace..... PVC

### 3.1.11.1D Souhrnná chladivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 = \mathbf{12,7 \text{ W/m}^2 \cdot K}$$

### 3.1.11.2D Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup výpočtu dle 3.1.1.2

$$\text{Povrch izolovaného vodiče CY4 mm}^2 : P_n = 0 \cdot l = 11,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = \mathbf{0,0165\text{m}^2}$$

### 3.1.11.3DTepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} = \mathbf{4,77 \text{ K/W}}$$

#### 3.1.11.4D Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} = 0,2 \text{ K/W}$$

#### 3.1.11.5D Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 4 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} = 4,97 \text{ K/W}$$

#### 3.1.11.6D Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} = 12,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

#### 3.1.11.7D Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$\text{Činný odpor vodiče } R_{90} : R_{90} = 8,475 \cdot 10^{-3} \Omega$$

#### 3.1.11.8D Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$$P_Q = 4,56 \text{ W}$$

#### 3.1.11.9D Oteplení izolovaného vodiče CY 4mm<sup>2</sup> $\theta_{\infty}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$$\theta_{\infty} = 21,8 \text{ K}$$

### 3.1.11E Vodiče CY2,5mm<sup>2</sup>

*Pozn.:vzhledem k velmi malému vlivu níže uvedených výpočtů na celkové oteplení jsou jednotlivé výsledky obvodů FA4-9 průřezu 2,5mm<sup>2</sup> uváděny pouze heslovitě a stručně*

Parametry dílců

	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
Délka vodičů $l$ [m] .....	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Jmenovitý proud $I_n$ [A].....	23,2	0,8	12,6	12,7	5,7	4,7
Emisivita povrchu $E_Z$ .....	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Materiál izolace	PVC					

### 3.1.11.1E Souhrnná chladiivost povrchu $\alpha_0$

Postup výpočtu viz 3.1.1.1

$$\alpha_0 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$12,7$$

### 3.1.11.2E Velikost povrchu dílce $P_n$

Postup výpočtu dle 3.1.1.2

$$P_n \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$1,4 \cdot 10^{-2}$$

### 3. 1. 11.3E Tepelný odpor povrchu izolace $R_{T\alpha}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.3

$$R_{T\alpha} \text{ [K/W]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$5,62$$

### 3.1.11.4E Tepelný odpor vrstvy izolace $R_{T1}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.4

$$R_{T1} \text{ [K/W]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$0,342$$

### 3.1.11.5E Celkový tepelný odpor izolovaného vodiče CY 2,5 mm<sup>2</sup> $R_{TC}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.5

$$R_{TC} \text{ [K/W]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$5,962$$

### 3.1.11.6E Náhradní součinitel přestupu tepla $\alpha_{0n}$

Postup výpočtu viz 3.1.1.6

$$\alpha_{0n} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$11,98$$

### 3.1.11.7E Činný odpor vodiče $R_{90}$ při předpokládané provozní teplotě dílce 90°C

Postup výpočtu viz 3.1.1.7

$$R_{90} \text{ [}\Omega\text{]} \quad \text{FA4-FA9}$$

$$1,356 \cdot 10^{-2}$$



### 3.1.11.8E Výkonové ztráty $P_Q$

Postup výpočtu viz 3.1.1.8

$P_Q$ [W]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,035	0,0086	0,00215	0,039	0,4	0,3

### 3.1.11.9E Oteplení izolovaného vodiče CY 2,5mm<sup>2</sup> $\Theta_\infty$

Postup výpočtu viz 3.1.1.9

$\Theta_\infty$ [K]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,2	0,0,5	12,8	0,2	2,38	1,79

## 3.2 Výpočet tepelného toku $Q$ dílce

### 3.2.1 Kabel AYKY-J 3x120+70 mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_\infty = 13,1$  K

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^\circ\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$ :  $T_1 = \Theta_\infty + T_o$   $T_1 = 13,1 + 40 = \mathbf{53,1^\circ\text{C}}$

Střední teplota dílce  $T_S$ :  $T_S = \frac{T_o + T_1}{2}$   $T_S = \frac{40 + 53,1}{2} = \mathbf{46,55^\circ\text{C}}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,8$

Tekutinová konstanta  $C_\epsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

$$T_S = 46,55^\circ\text{C} \text{ dle tabulek pro } 50^\circ\text{C} \text{ je } \mathbf{C_\epsilon = 0,457}$$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 7,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,096 \text{ m}^2$

#### 3.2.1.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ :  $\lambda_{ek} = C_\epsilon \cdot \delta^{0,75} \cdot (T_1 - T_o)^{0,25}$

$$\lambda_{ek} = 0,457 \cdot 0,15^{0,75} \cdot (53,1 - 40)^{0,25} = \mathbf{0,209 \text{ W/m.K}}$$

#### 3.2.1.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ :  $\lambda_{ef} = \lambda_{ek} + \alpha_Z \cdot \delta = 0,209 + 7,3 \cdot 0,15 = \mathbf{1,304 \text{ W/m} \cdot \text{K}}$

#### 3.2.1.3

Tepelný tok  $Q$ :  $Q_{3.2.1} = \frac{\lambda_{ef}}{\delta} \cdot P \cdot \Delta T = \frac{1,304}{0,15} \cdot 0,096 \cdot 13,1 = \mathbf{10,9 \text{ W}}$

### 3.2.2 Hlavní jistič

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 21,9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 61,9^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 50,95^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,155\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,074 \text{ m}^2$

#### 3.2.2.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,244 \text{ W/m.K}$

#### 3.2.2.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,515 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

#### 3.2.2.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.2} = 15,9 \text{ W}$

### 3.2.3 Samostatné jednožilové vodiče AY 120mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 17,8 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 57,8^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 48,9^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,2\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,8$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 7,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,024 \text{ m}^2$

#### 3.2.3.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,280 \text{ W/m.K}$

### 3.2.3.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,74 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.3.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.3} = 3,8 \text{ W}$

## 3.2.4 Třmenové svorky + přípojnice Cuponal

*Pozn.: z důvodu zjednodušení výpočtu, jsou ztráty způsobené třmenovými svorkami připočteny ke ztrátám přípojnice Cuponal viz 3.1.5.7 a 3.1.5.8*

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 49^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 44,5^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,115\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,17$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,461$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0315 \text{ m}^2$

### 3.2.4.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,157 \text{ W/m.K}$

2  $\lambda_{ef} = 0,318 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.4.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.4} = 0,78 \text{ W}$

## 3.2.5 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm<sup>2</sup>, CY 16mm<sup>2</sup> (přívody k jistícím přístrojům)

### 3.2.5A Vodiče CY50mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 18,5 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 58,5^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 49,3^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0332 \text{ m}^2$

### 3.2.5.1A

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,262 \text{ W/m.K}$

### 3.2.5.2A

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,738 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.5.3A

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.5A} = 5,9 \text{ W}$

## 3.2.5B Vodiče CY16 mm<sup>2</sup> (2xsada)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_\infty = 12,9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^\circ\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$ : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 52,9^\circ\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$ : Postup viz 3.2.1  $T_S = 46,5^\circ\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0207 \text{ m}^2$

### 3.2.5.1B

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,239 \text{ W/m.K}$

### 3.2.5.2B

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,715 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.5.3B

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.5B} = 2,54 \text{ W}$

### 3.2.5C Vodiče CY16mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 2,8 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 42,8^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 41,4^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,461$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,031 \text{ m}^2$

#### 3.2.5.1C

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,144 \text{ W/m.K}$

#### 3.2.5.2C

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,374 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

#### 3.2.5.3C

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.5C} = 0,8 \text{ W}$

### 3.2.5D Vodiče CY16mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 21,2 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 61,2^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 50,6^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,031 \text{ m}^2$

#### 3.2.5.1D

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,236 \text{ W/m.K}$

#### 3.2.5.2D

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,466 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.5.3D

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.5D} = 6,4 \text{ W}$

## 3.2.6 Pojistkový odpínač FU1 (pojistky 160A)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 12,2 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 52,2^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 46,1^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,078 \text{ m}^2$

### 3.2.6.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,236 \text{ W/m.K}$

### 3.2.6.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,712 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.6.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.6} = 9,1 \text{ W}$

## 3.2.7 2x Pojistkový odpínač FU2 (pojistky 63A)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 6,5 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 46,5^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 43,25^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,461$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,078 \text{ m}^2$

### 3.2.7.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,203 \text{ W/m.K}$

### 3.2.7.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,679 \text{ W/m.K}$

### 3.2.7.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.7} = 4,7 \text{ W}$

## 3.2.8 Jističe modulární

### 3.2.8A Jistič C40/3-I (1ks)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 13,5 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 53,5^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_s$  : Postup viz 3.2.1  $T_s = 46,75^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18 \text{ m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_s$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_z$ :  $\alpha_z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,019 \text{ m}^2$

### 3.2.8.1A

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,241 \text{ W/m.K}$

### 3.2.8.2A

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,717 \text{ W/m.K}$

### 3.2.8.3A

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.8A} = 2,4 \text{ W}$

### 3.2.8B Jistič BMSO B 25/3 (1ks)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 18 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 58^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_s$  : Postup viz 3.2.1  $T_s = 49^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,012 \text{ m}^2$

3.2.8.1B

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,259 \text{ W/m.K}$

3.2.8.2B

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,735 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

3.2.8.3B

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.8B} = 2,18 \text{ W}$

### 3.2.8C Jistič BMSO B 16/3 (3ks)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_\infty = 28,5 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^\circ\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$ : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 62,5^\circ\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$ : Postup viz 3.2.1  $T_S = 5,25^\circ\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,012 \text{ m}^2$

3.2.8.1C

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,284 \text{ W/m.K}$

3.2.8.2C

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,76 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

3.2.8.3C

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.8C} = 3,17 \text{ W}$



### 3.2.8D Jistič BMSO B 16/1 (5ks)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 34,9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 65,8^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 52,9^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,18\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,012 \text{ m}^2$

#### 3.2.8.1D

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,306 \text{ W/m.K}$

#### 3.2.8.2D

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,782 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

#### 3.2.8.3D

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.8D} = 4,35 \text{ W}$

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 11,8 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 51,8^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$  : Postup viz 3.2.1  $T_S = 45,9^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,2\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 4,91 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

#### 3.2.9.1

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,253 \text{ W/m.K}$

### 3.2.9.2

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{\text{ef}}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{\text{ef}} = 1,893 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### 3.2.9.3

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.9} = 0,55 \text{ W}$

## 3.2.10 Samostatné jednožilové vodiče CY 50mm<sup>2</sup>, CY 16mm<sup>2</sup>, CY10mm<sup>2</sup>, CY4mm<sup>2</sup>, CY2,5mm<sup>2</sup> (odvodní kabely od jist.přístrojů k zařízením. )

### 3.2.10A Vodiče CY50mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 17,9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 57,9^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_s$  : Postup viz 3.2.1  $T_s = 45,9^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_s$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_z$ :  $\alpha_z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0498\text{m}^2$

#### 3.2.10.1A

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{\text{ek}}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{\text{ek}} = 0,226 \text{ W/m.K}$

#### 3.2.10.2A

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{\text{ef}}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{\text{ef}} = 1,456 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

#### 3.2.10.3A

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.10A} = 8,65 \text{ W}$

### 3.2.10B Vodiče CY16 mm<sup>2</sup> (2 x sada)

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 14,4 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 54,4^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_s$  : Postup viz 3.2.1  $T_s = 47,2^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,031 \text{ m}^2$

3.2.10.1B

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,215 \text{ W/m.K}$

3.2.10.2B

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,445 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

3.2.10.3B

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.10B} = 4,3 \text{ W}$

### 3.2.10C Vodiče CY10mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_\infty = 10,9 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^\circ\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$ : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 50,9^\circ\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_S$ : Postup viz 3.2.1  $T_S = 45,5^\circ\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15 \text{ m}$

Emisivita  $E_z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1  $C_\varepsilon = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0243 \text{ m}^2$

3.2.10.1C

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$ : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,2 \text{ W/m.K}$

3.2.10.2C

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$ : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,43 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

3.2.10.3C

Tepelný tok  $Q$ : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.10C} = 2,53 \text{ W}$

### 3.2.10D Vodiče CY4mm<sup>2</sup>

Parametry dílce:

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty} = 21,8 \text{ K}$

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  : Postup viz 3.2.1  $T_1 = 61,8^{\circ}\text{C}$

Střední teplota dílce  $T_s$  : Postup viz 3.2.1  $T_s = 50,9^{\circ}\text{C}$

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_{\varepsilon}$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_s$ :

Postup viz 3.2.1  $C_{\varepsilon} = 0,457$

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch  $P_n = 0,0165\text{m}^2$

#### 3.2.10.1D

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  : Postup viz 3.2.1.1  $\lambda_{ek} = 0,238\text{W/m.K}$

#### 3.2.10.2D

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  : Postup viz 3.2.1.2  $\lambda_{ef} = 1,468 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

#### 3.2.10.3D

Tepelný tok  $Q$  : Postup viz 3.2.1.3  $Q_{3.2.10D} = 3,52 \text{ W}$

### 3.2.10E Vodiče CY2,5mm<sup>2</sup>

*Pozn.:vzhledem k velmi malému vlivu níže uvedených výpočtů na celkové oteplení jsou jednotlivé výsledky obvodů FA4-9 průřezu 2,5mm<sup>2</sup> uváděny pouze heslovitě a stručně*

Parametry dílců

Oteplení povrchu dílce  $\Theta_{\infty}$  :

$\Theta_{\infty} [\text{K}]$	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,2	0,0,5	12,8	0,2	2,38	1,79

Teplota okolního prostředí je uvažována  $T_o = 40^{\circ}\text{C}$

Vypočítaná provozní teplota dílce  $T_1$  :

Postup viz 3.2.1

$T_1 [^{\circ}\text{C}]$	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	40,2	40,05	52,8	40,2	42,38	41,79

Střední teplota dílce  $T_S$  :

Postup viz 3.2.1

$T_S$ [°C]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	40,1	40,02	46,4	40,1	41,19	40,89

Vzdálenost povrchu dílce od stěny rozvaděče  $\delta = 0,15\text{m}$

Emisivita  $E_Z = 0,9$

Tekutinová konstanta  $C_\varepsilon$  (suchý vzduch 0,1MPa) pro danou střední teplotu  $T_S$ :

Postup viz 3.2.1

$C_\varepsilon$	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,461	0,461	0,457	0,461	0,461	0,461

Součinitel přestupu tepla zářením  $\alpha_Z$ :  $\alpha_Z = 8,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Povrch dílce  $P_n$  :

$$P_n [\text{m}^2] \quad P_n = 0,014\text{m}^2$$

3.2.10.1E

Ekvivalentní tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  :

Postup viz 3.2.1.1

$\lambda_{ek}$ [W/m.K]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,0742	0,0524	0,208	0,0751	0,138	0,128

3.2.10.2E

Efektivní tepelná vodivost  $\lambda_{ef}$  :

Postup viz 3.2.1.2

$\lambda_{ef}$ [W/m . K]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	1,304	1,282	1,438	1,305	1,368	1,358

3.2.10.3E

Tepelný tok Q :

Postup viz 3.2.1.3

$Q_{3.2.10E}$ [W]	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9
	0,024	0,006	1,7	0,024	0,3	0,23

$$Q_{3.2.10E} = 2,28W$$

### 3.3 Celkový tepelný tok $\Sigma Q$ (Ztrátový výkon) :

$$\begin{aligned}\Sigma Q = & Q_{3.2.1} + Q_{3.2.2} + Q_{3.2.3} + Q_{3.2.4} + Q_{3.2.5A} + 2 \cdot Q_{3.2.5B} + Q_{3.2.5C} + Q_{3.2.5D} + Q_{3.2.6} + Q_{3.2.7} \\ & + Q_{3.2.8A} + Q_{3.2.8B} + 3 \cdot Q_{3.2.8C} + 4 \cdot Q_{3.2.8D} + Q_{3.2.9} + Q_{3.2.10A} + 2 \cdot Q_{3.2.10B} + Q_{3.2.10C} \\ & + Q_{3.2.10D} + Q_{3.2.10E}\end{aligned}$$

$$\Sigma Q = 10,9 + 15,9 + 3,8 + 0,78 + 5,9 + 2,2,54 + 0,8 + 6,4 + 9,1 + 2,4,7 + 2,4 + 2,18 + 3,3,17 + 5,4,35 + 0,55 + 8,65 + 2,4,3 + 2,53 + 3,52 + 2,28 = \mathbf{130W}$$

### 3.4 Oteplení $\Theta$ vnitřního prostoru rozvaděče nn :

Parametry:

Ztrátový výkon  $\Sigma Q = 130W$

Teplota okolního prostředí  $T_0 = 40^\circ C$

Součinitel přestupu tepla krytů rozvaděče (oceloplechové kryty)  $\alpha_0 = 5,5 W/m^2.K$

Povrch oceloplechového rozvaděče bez spodního víka a zadní stěny:  $P_n = 3,04m^2$

3.4.1

Oteplení vnitřního prostoru rozvaděče nn :

$$\Theta = \frac{\Sigma Q}{\alpha_0 \cdot P_n} \quad \Theta = \frac{130}{5,5 \cdot 3,04} = \mathbf{7,8 K}$$

3.4.2

Teplota vnitřního prostoru rozvaděče v ustáleném stavu:

$$T = T_0 + \Theta \quad 40 + 7,8 = \mathbf{47,8 ^\circ C}$$

## 4. Rozbor dosažených výsledků a definování možností zpřesnění výpočtu pro zlepšení spolehlivosti provozu daného rozvaděče

### 4.1 Rozbor dosažených výsledků

Měřením bylo zjištěno, že uvedené výpočty odpovídají reálnému provozu rozvaděče nn. Výpočtem bylo potvrzeno, že v případě mezního stavu, kdy se teplota okolního prostředí bude pohybovat kolem 40°C, nedojde k ohrožení funkčnosti ani bezpečnosti provozu daného rozvaděče a tudíž je celé elektrické zařízení **schopno provozu**, neboť výsledné oteplení vnitřního prostoru rozvaděče  $\Theta = 7,8 \text{ K}$  a následná ustálená provozní teplota  $T = 47,8^\circ\text{C}$  je nižší než nejnižší dovolené trvalé teploty nejvíce ohrožených dílců, tedy **izolantů**. Žádný dílec ani teplota vnitřního prostoru rozvaděče nepřesahuje dovolené teploty. Samozřejmě, v mé práci je k výpočtu použito zjednodušujících podmínek, které stručně popisují v kapitole 4 odstavci 4.2. Dále, výsledky byly zjištěny pouze matematickou metodou, práce nebyla řešena pomocí ČSN IEC 890+A1, i když pro konfrontaci s možným postupem jsem ji musel prostudovat. Možné řešení tepelného výpočtu rozvaděče nn pomocí softwarového nástroje ANSYS nebylo z časových a rozsahových možností této práce zvoleno.

### 4.2 Možnosti zpřesnění výpočtu

V této kapitole bylo použito zjednodušujících podmínek :

**Délka vodičů** je zaokrouhlena a pro zpřesnění výpočtu by se musela používat přesná délka, tudíž je výpočtem ovlivněn povrch dílce, odpor vodiče, výkonové ztráty a nakonec i výsledné oteplení. Zjednodušení bylo užito i u **tloušťky izolace** či **izolačních krytů**, což vedlo ke zkreslení výpočtu tepelných odporů. Vliv mají i **rozměry povrchu** jednotlivých dílců, kdy plochy byly voleny s ohledem na účinné chladicí plochy. Prakticky je výpočet skutečných chladicích ploch problematický, neboť ochlazování povrchu jednotlivých dílců je pro každý prvek jiné. Někde chladí téměř všechny stěny a někde jen některé. Dáno je to polohou a umístěním v rozvaděči. Některé dílce jsou umístěny samostatně, proud vzduchu obtéká celé těleso a některé, protože jsou umístěny v jedné řadě a jejich stěny se navzájem dotýkají, jsou chlazeny jen ze čtyř stran. Mimo tento vliv je v práci použito zjednodušujícího předpokladu ( ve skutečnosti nereálného) a to, že jednotlivé dílce použité v rozvaděči se **navzájem tepelně neovlivňují**. Všechny vodiče, přístroje, tekutiny obklopující dílce, konstrukční části rozvaděče tvoří ve skutečnosti tepelnou síť, kterou proudí tepelný tok. Tyto toky se kříží a prolínají. Pro **zpřesnění** výpočtu by bylo tedy nutné vytvořit **mřížovou tepelnou síť** složenou z individuálních náhradních schémat jednotlivých dílců a teprve potom by bylo možné exaktně určit oteplení v jednotlivých bodech vnitřního prostoru rozvaděče nn. Jak už již bylo zdůrazněno, především z důvodu rozsahové náročnosti exaktního výpočtu není zde možné provádět přesný tepelný výpočet rozvaděče nn.

[1] [4]

## Literatura:

- [1] **O.Havelka:** *Stavba elektrických přístrojů I., Vysoké učení technické v Brně, Brno 1984, 262 s.*
- [2] **Z.Vávra, V.Novotný, Z.Vostracký:** *Stavba elektrických přístrojů II., Vysoké učení technické v Brně, Brno 1985, 243 s.*
- [3] **O. Havelka a kolektiv:** *Elektrické přístroje, vyd. I, SNTL /ALFA, Praha 1985, 440 s.*
- [4] **Z.Herzig:** *Stanovení oteplení rozvaděčů výpočtem, Strom, Praha 1995, 33 s.*
- [5] **Schrack.:** *Přehled sortimentu Schrack Technik*  
<http://www.schrack.cz/produkty-eshop/novinky/sortimentni-katalog-2012/>
- [6] **Elektrobečov:** <http://www.elektrobecov.cz/clanky/619-radove-svornice-rsa.html>
- [7] **OEZ Letohrad:** [http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4379-Z01-11\\_CZ\\_SK.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4379-Z01-11_CZ_SK.pdf)
- [8] **ČSN IEC 890+A1 (357110) :** *Metoda stanovení oteplení extrapolací pro částečně typově zkoušené rozvaděče (PTTA) pro spínací a řídicí zařízení nízkého napětí, 1998*

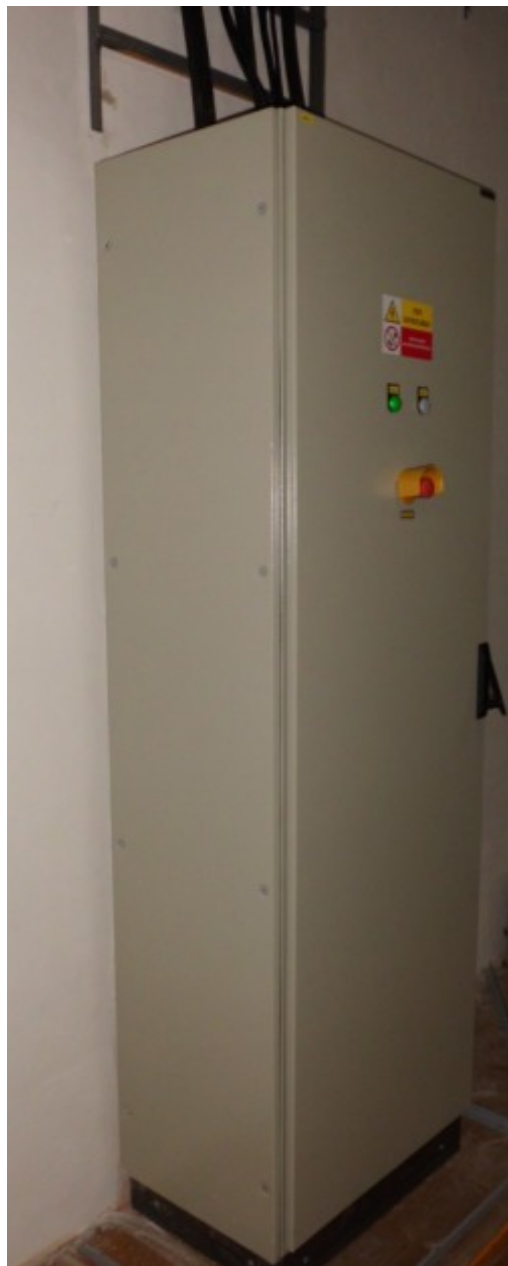


## Přílohy:

Obr.16 Čelní pohled na řešený rozvaděč nn



Obr.17 Boční pohled na řešený rozvaděč nn



Obr.18 Pohled na rozmístění přístrojů v rozvaděči nn



**HLAVNÍ JISTIČ**

**SCHRACK**

$U_n = 440V \text{ AC}$   
(50/60Hz)

$U_{exp} = 8000V$

**CE**

IEC/EN 60947  
DIN VDE 0660

**ON**

**TRIP**

**OFF**

**MC 2**

**POZOR!**  
**POD NAPĚTÍ**  
**I PŘI VYPNUTÍ**  
**HLAVNÍM VÝKLOUBEM**

Obr.21 Detailní pohled na pojistkové odpínače nn řešeného rozvaděče

